

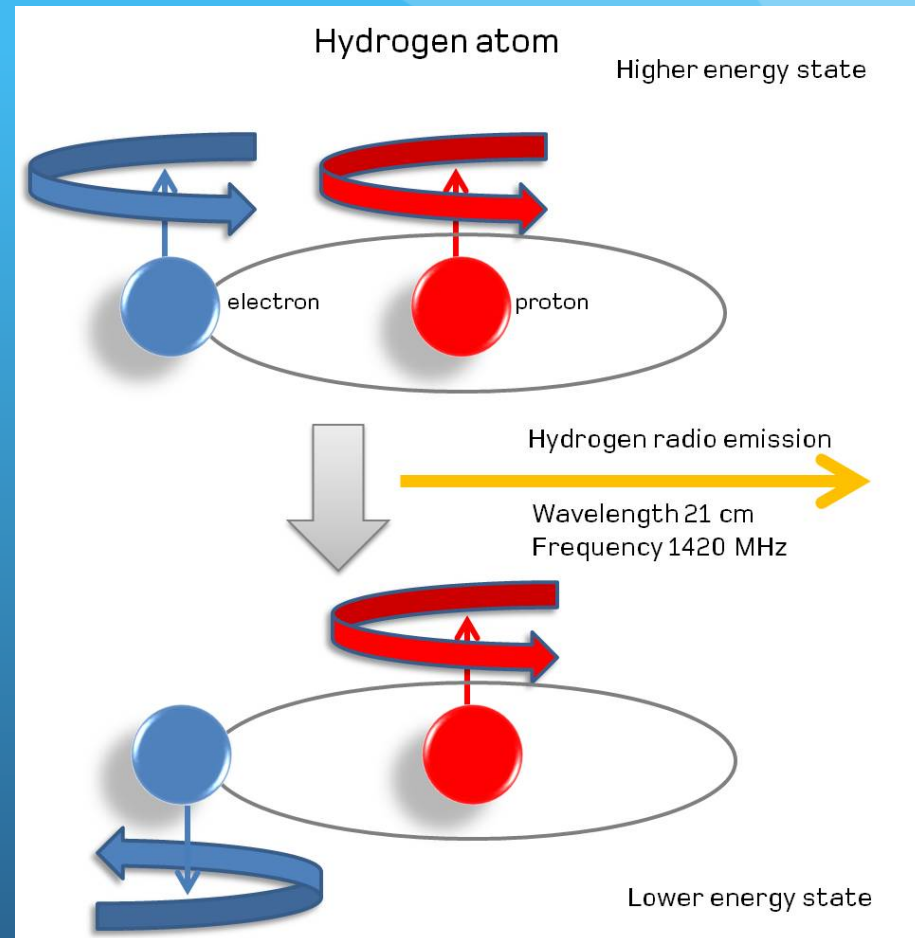
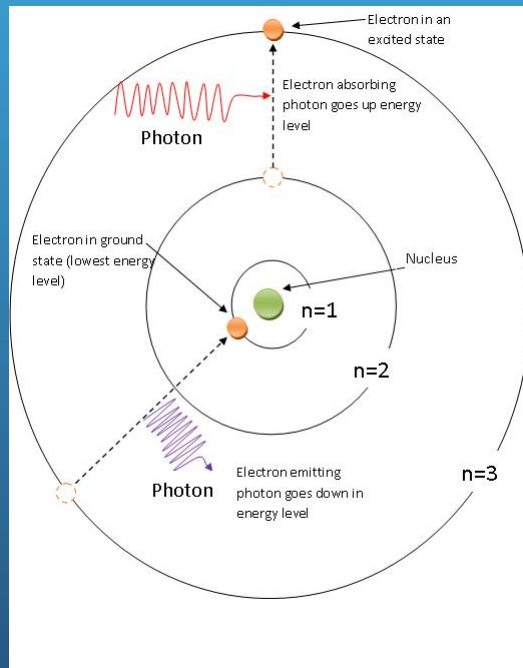
One step Beyond Il telescopio SKA

Anna Wolter

INAF-Osservatorio Astronomico di Brera

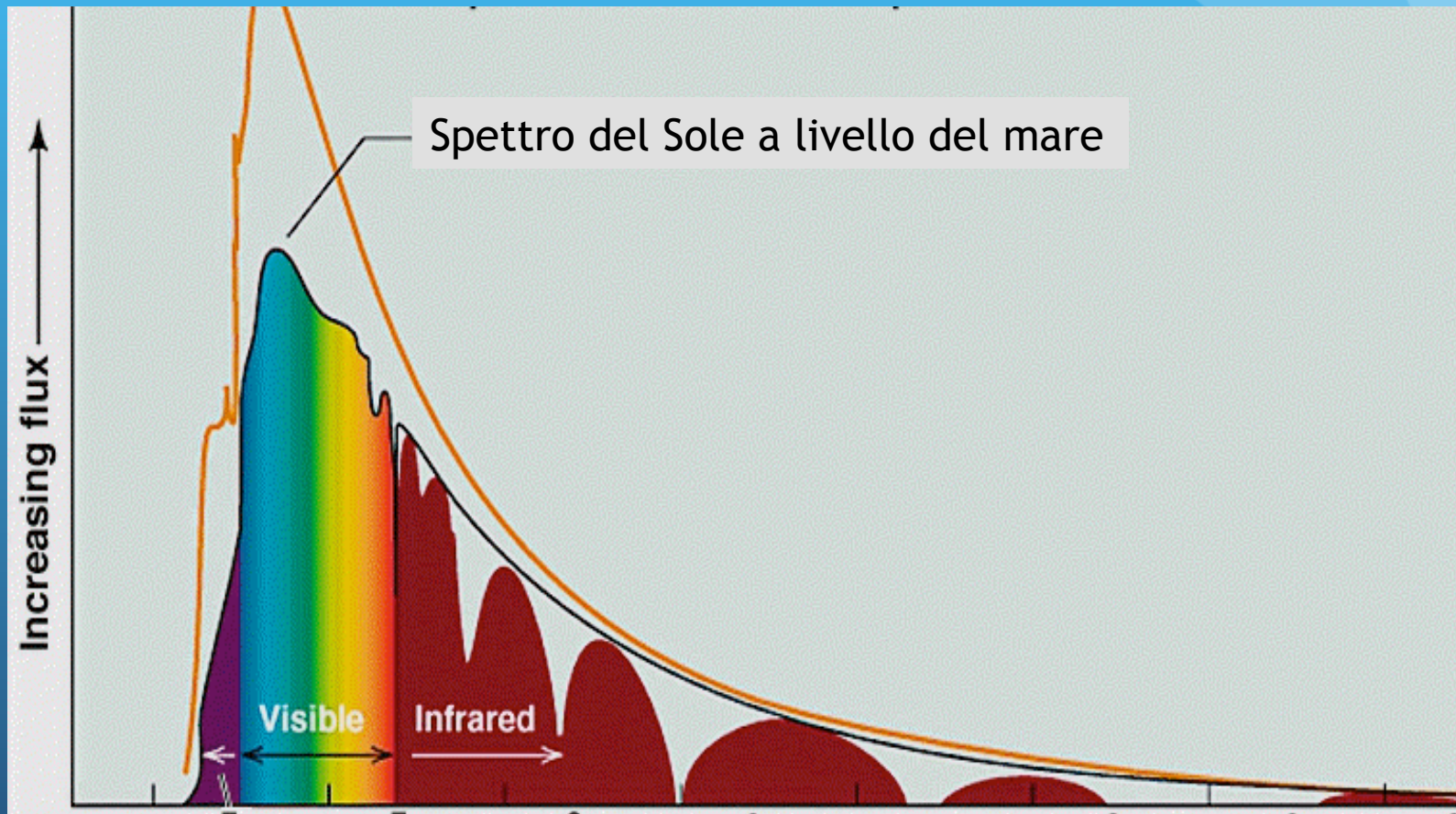
Idrogeno

- Inversione spin

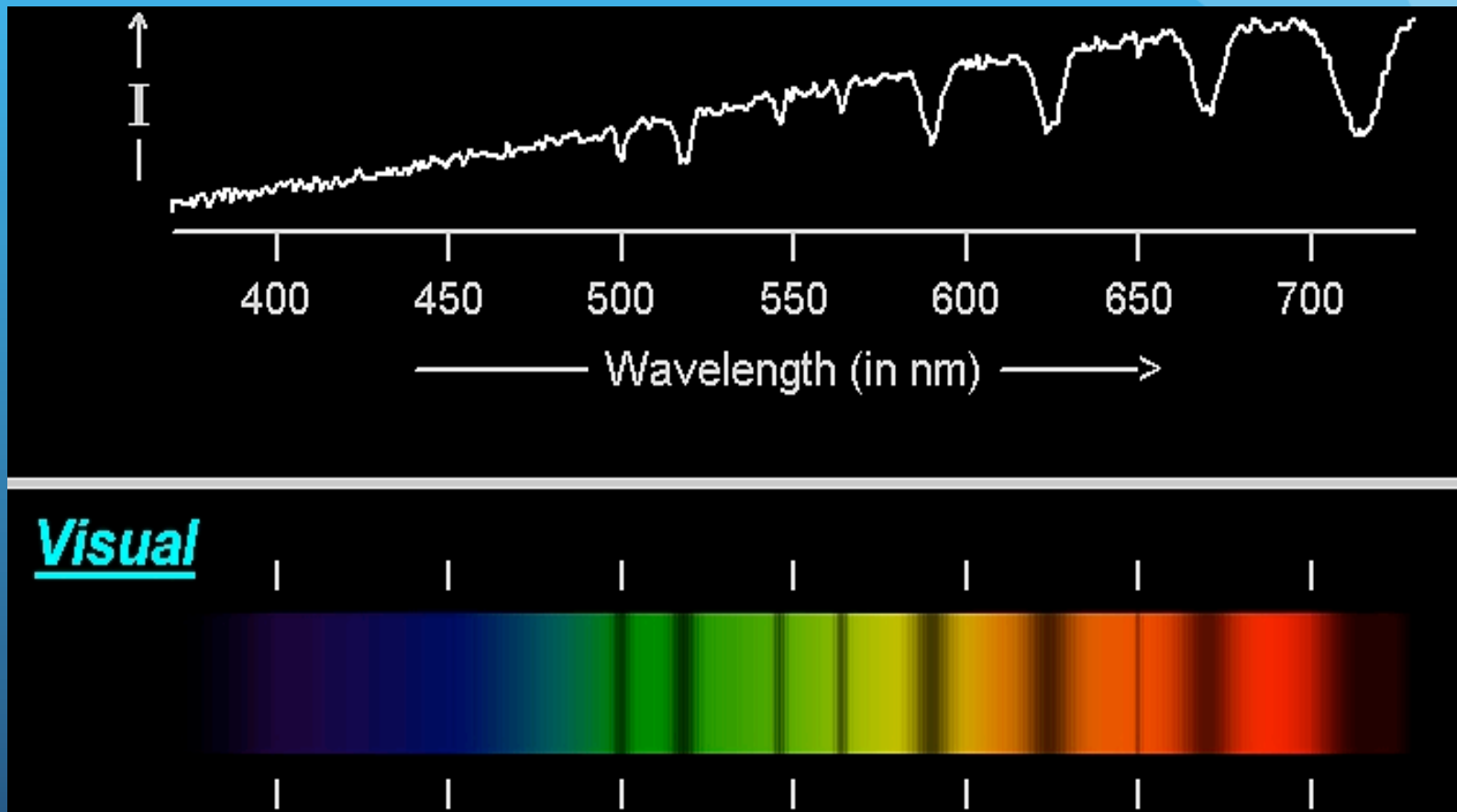


Una volta ogni $10^7 = 10\,000\,000$ anni

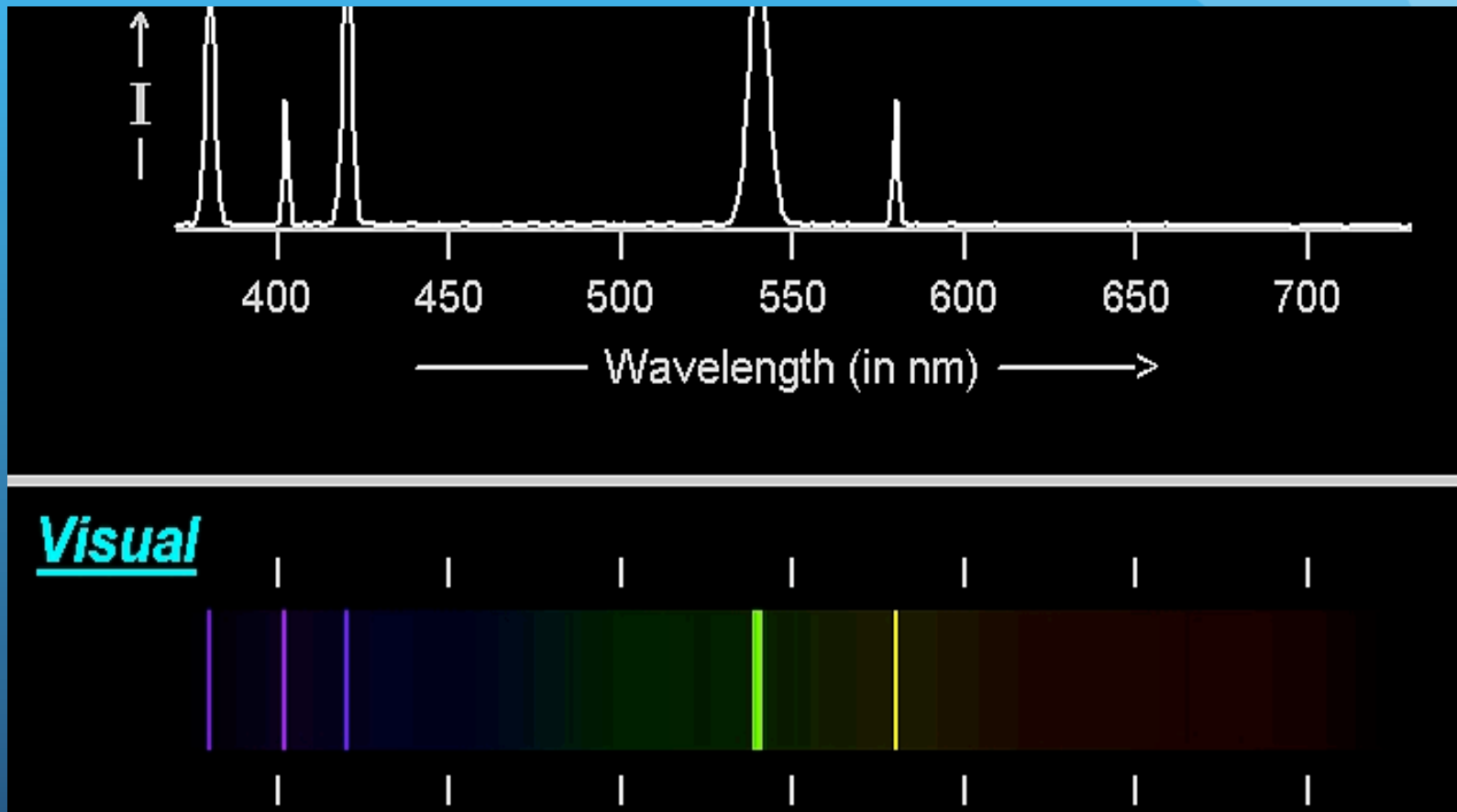
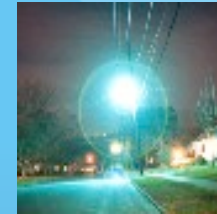
Il Sole



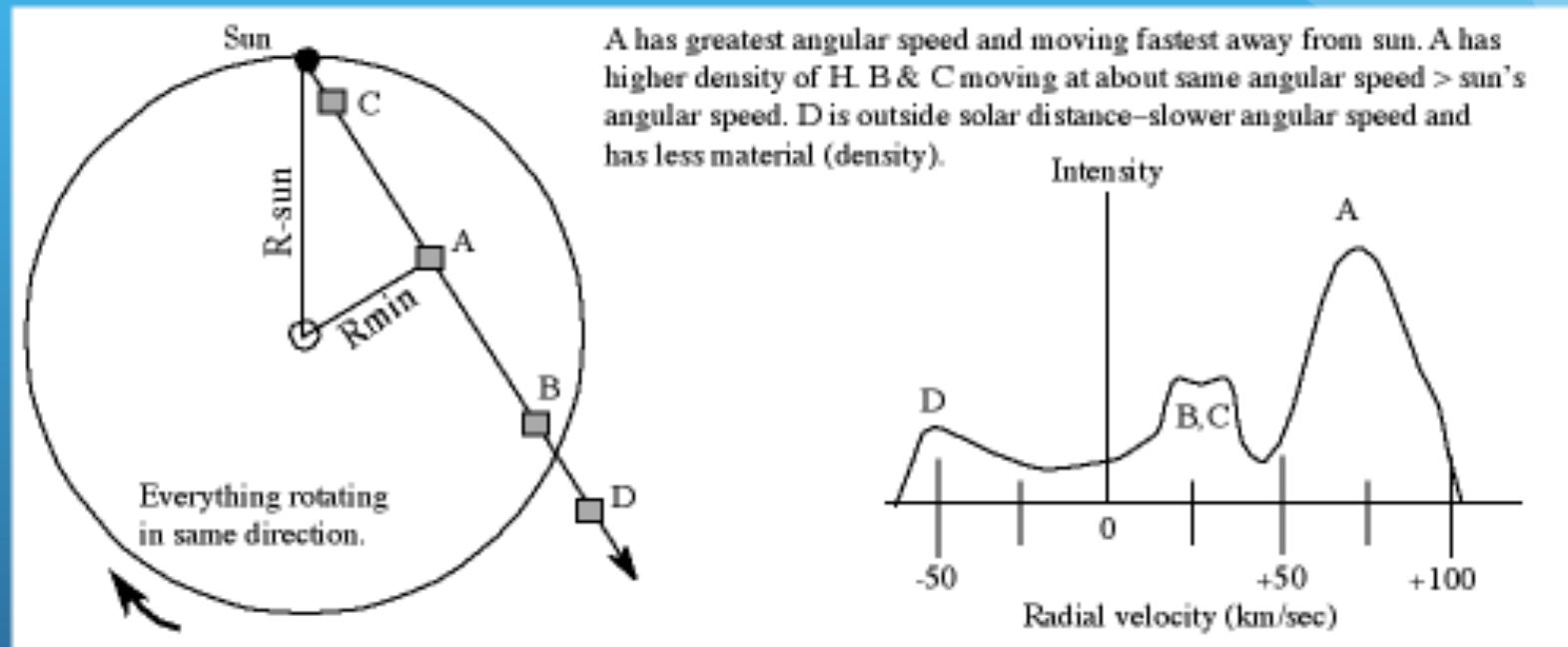
α Scorpii = Antares



Lampada al mercurio



Riga dell'Idrogeno a 21 cm



Emissione a 21.1 cm = 1420.4 MHz - alla sorgente. Spostamento Doppler

Evento raro : 1/10000000 anni

Ma quanti atomi ci sono?

$$3 \times 10^9 M_{\odot} \times (2 \times 10^{30} \text{ kg} / 2 \times 10^{-27} \text{ kg}) = 2 \times 10^{66}$$

$$1/10^{14} \text{ sec} = \sim 10^{52} \text{ atomi/sec}$$

Serve un telescopio per l'Idrogeno!!

Universo di stelle



Universo di gas Idrogeno

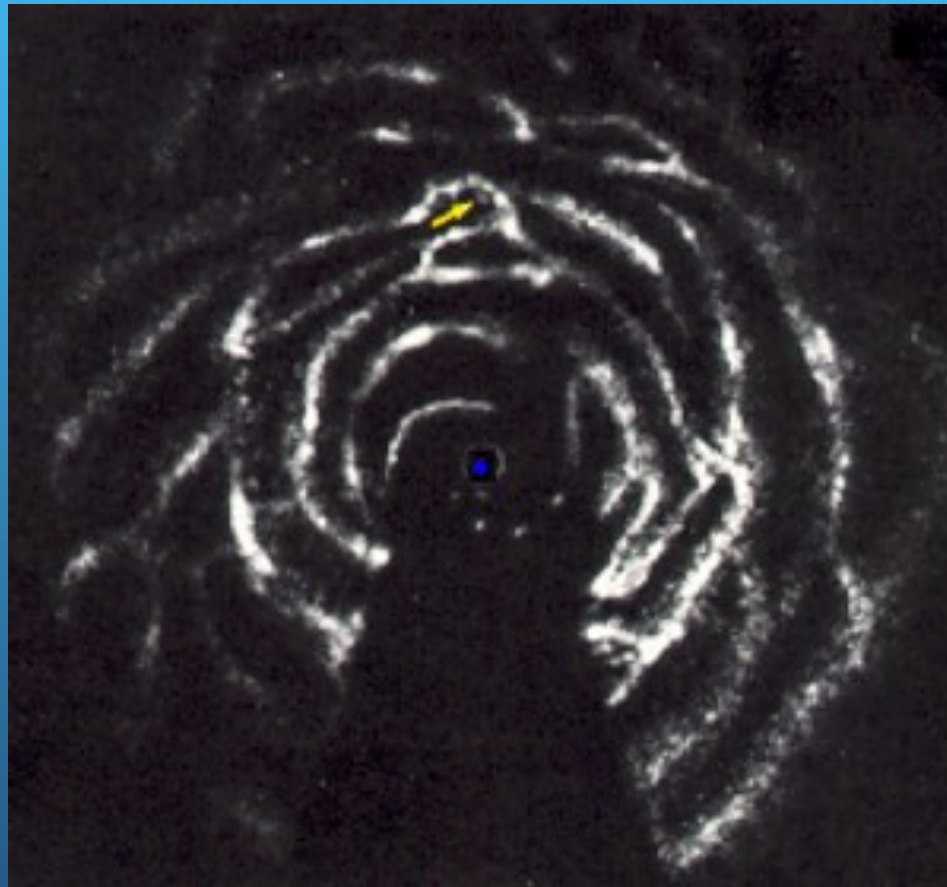


Ma il segnale è molto debole!

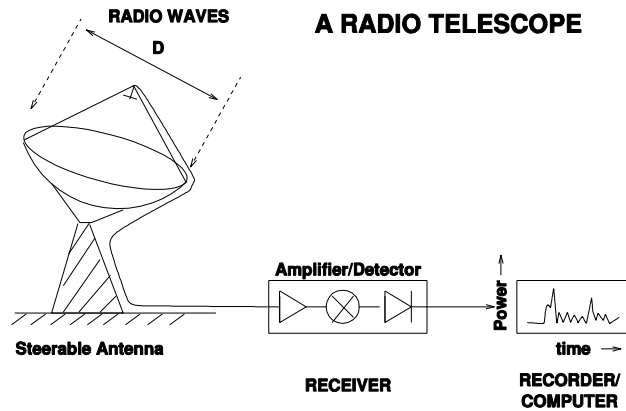
La Via Lattea a 21 cm

Sole

Centro
galattico



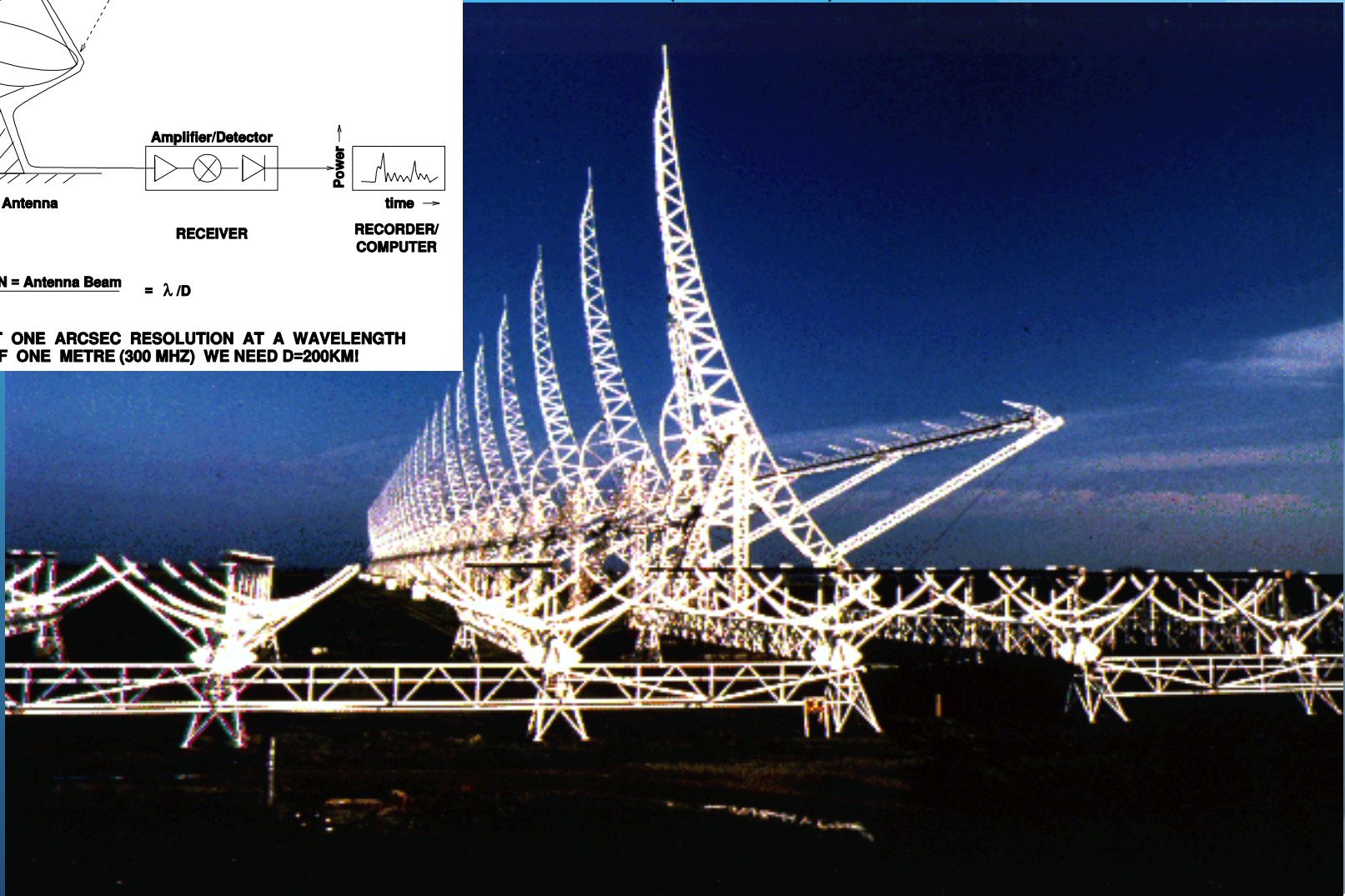
**A SIMPLE RADIO TELESCOPE CONSISTS
OF AN ANTENNA, A RECEIVER AND
A RECORDER**



RESOLUTION = Antenna Beam = λ/D

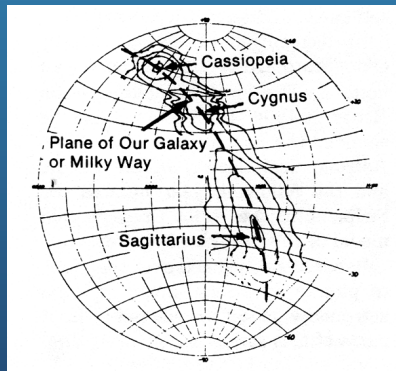
**TO GET ONE ARCSEC RESOLUTION AT A WAVELENGTH
OF ONE METRE (300 MHz) WE NEED D=200KM!**

Risoluzione $\sim \lambda/D$ radianti Un telescopio da 10 cm in ottico $\lambda/D = 1''$. Per ottenere la risoluzione di $1''$ alla lunghezza d'onda di 1 metro (300 MHz) serve $D=200$ km



Radio astronomi

- “La radioastronomia non i genitori sono entrambi lav radar..” (Chris Christianse)
- Marconi e Tesla ca. 1900
- K. Jansky ca. 1930 -> Jy
- G. Reber 1944



Interferometria

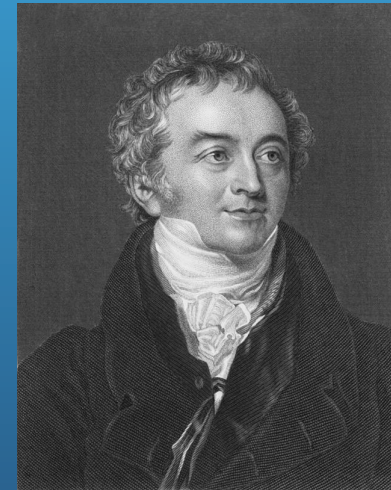
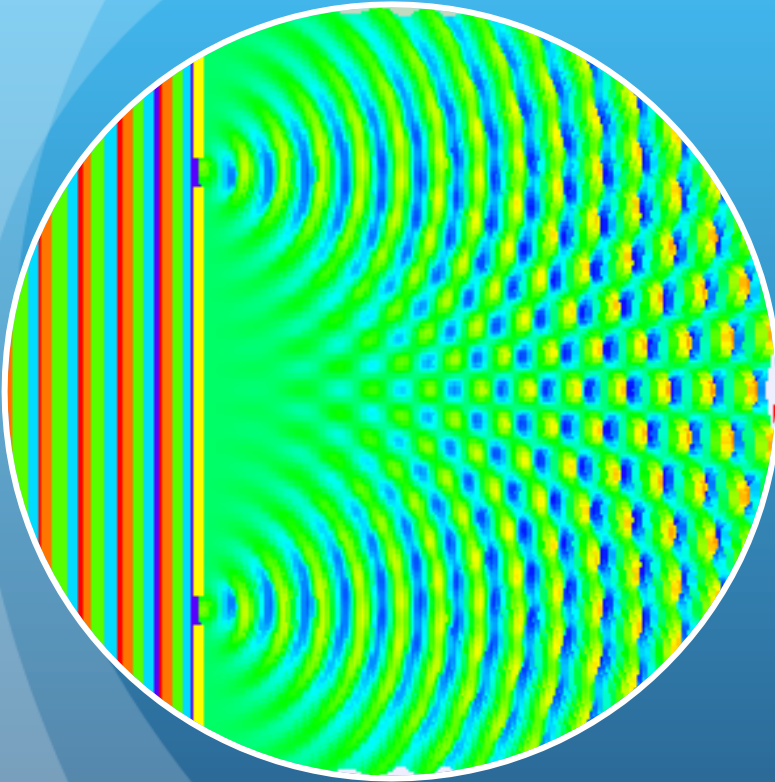
- Ruby Payne-Scott - la prima donna nella RadioAstronomia - l'unica per tanti anni: collabora alla prima osservazione interferometrica
- Nell'articolo di McCready, Pawsey and Payne-Scott (1947) viene per la prima volta sottolineata la relazione tra la potenza intercettata da un interferometro e la trasformata di Fourier della distribuzione del flusso della sorgente nel cielo.



Figure di interferenza

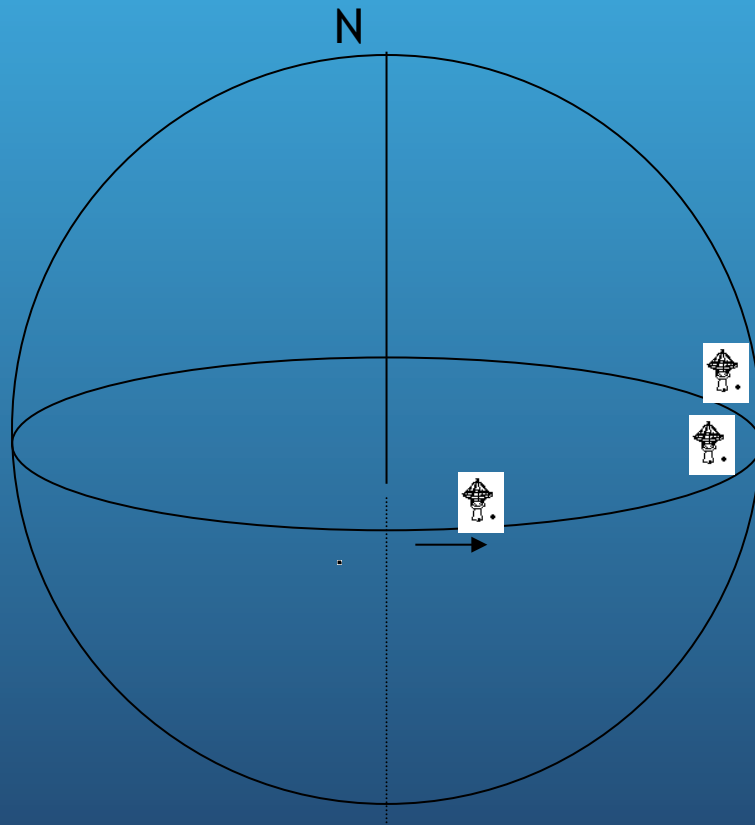
Esperimento di Young 1801

Una singola sorgente di luce -
due fenditure: la luce si
comporta come un'onda!

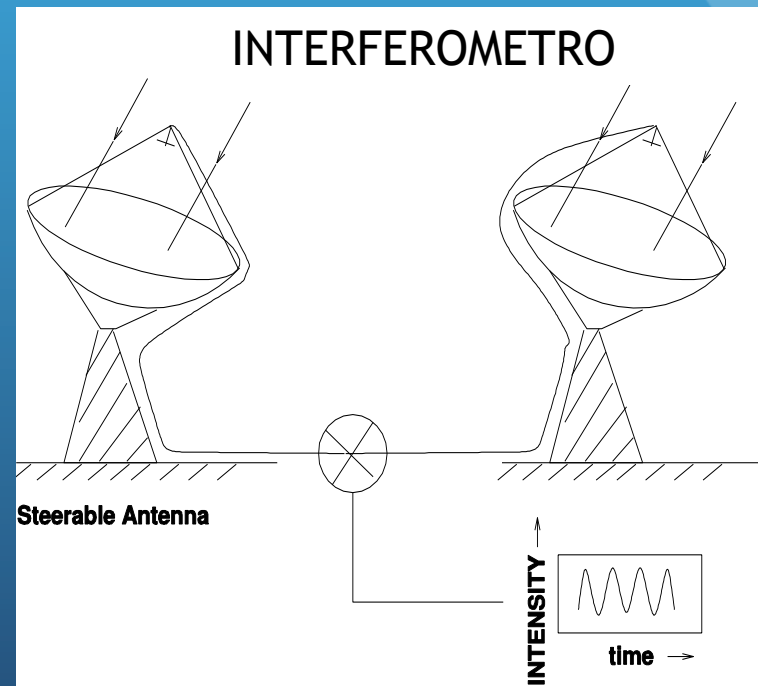


Radio-telescopio di sintesi: la rotazione terrestre

Mentre la Terra ruota, 2 antenne al suolo vedono la stessa sorgente da un punto di vista un po' diverso. Combinando molte di queste diverse **linee di base** si può sintetizzare una grande apertura.



Ogni coppia di antenne funziona come due fenditure, di fatto moltiplicando la distribuzione di brillantezza del cielo per una risposta sinusoidale. Così ogni coppia di antenne dell'interferometro misura una componente di Fourier dell'immagine radio.



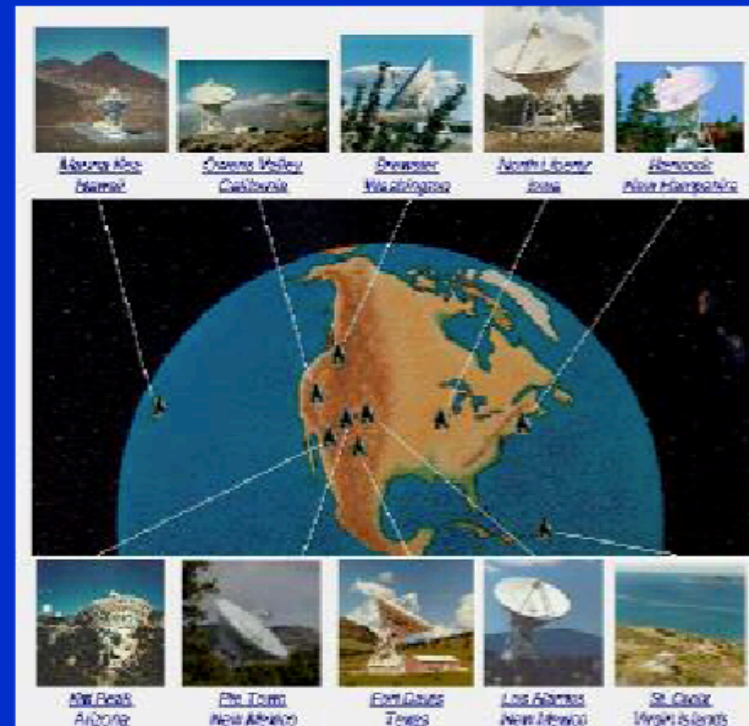
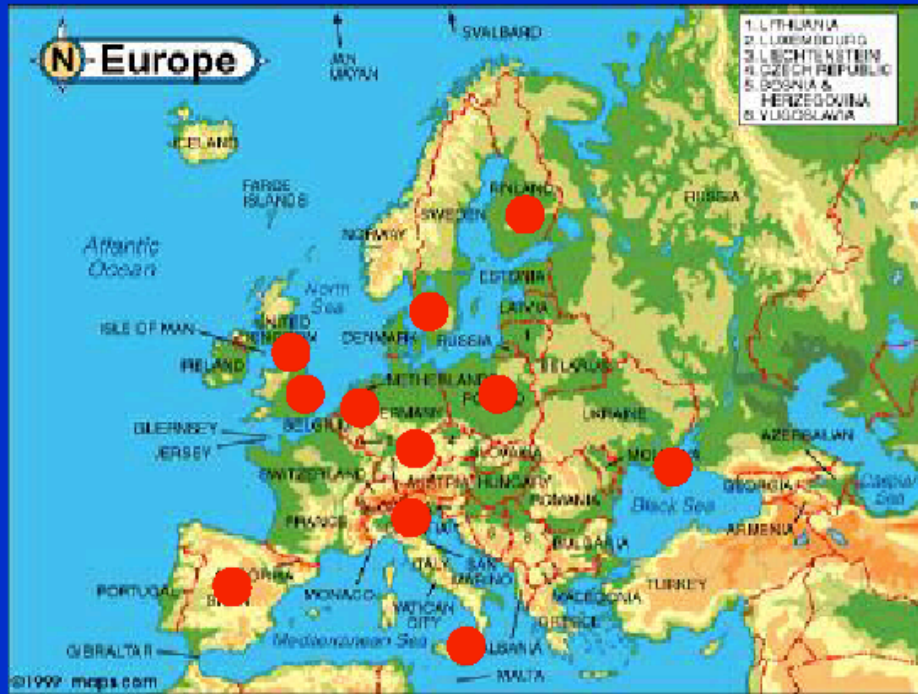
Il VLA, Socorro, New Mexico, USA.



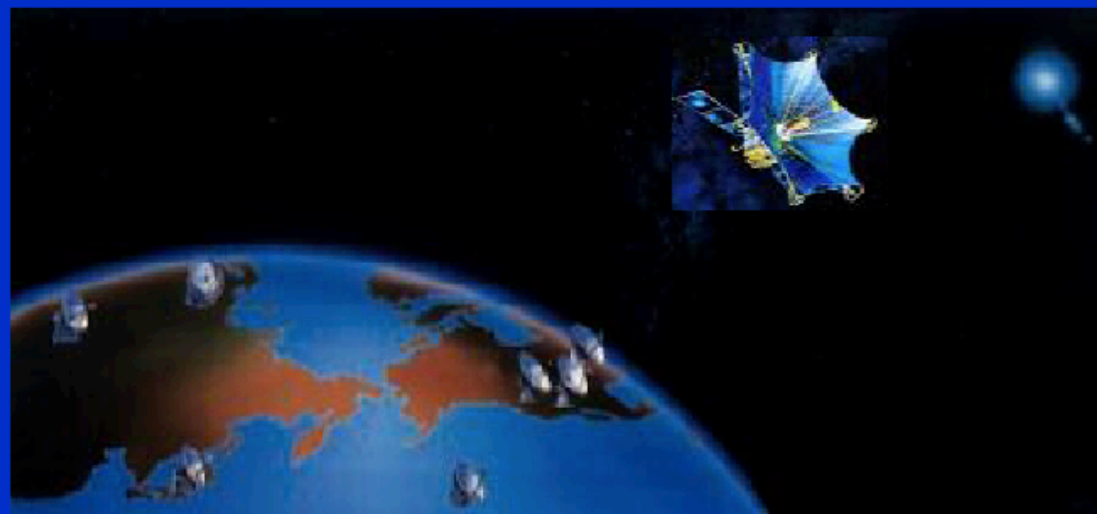
Vista panoramica del GMRT array, INDIA.



VLBI : Very Long Baseline Interferometry



VLBA



Spatial VLBI

Radio Frequency Interference

- The Challenge

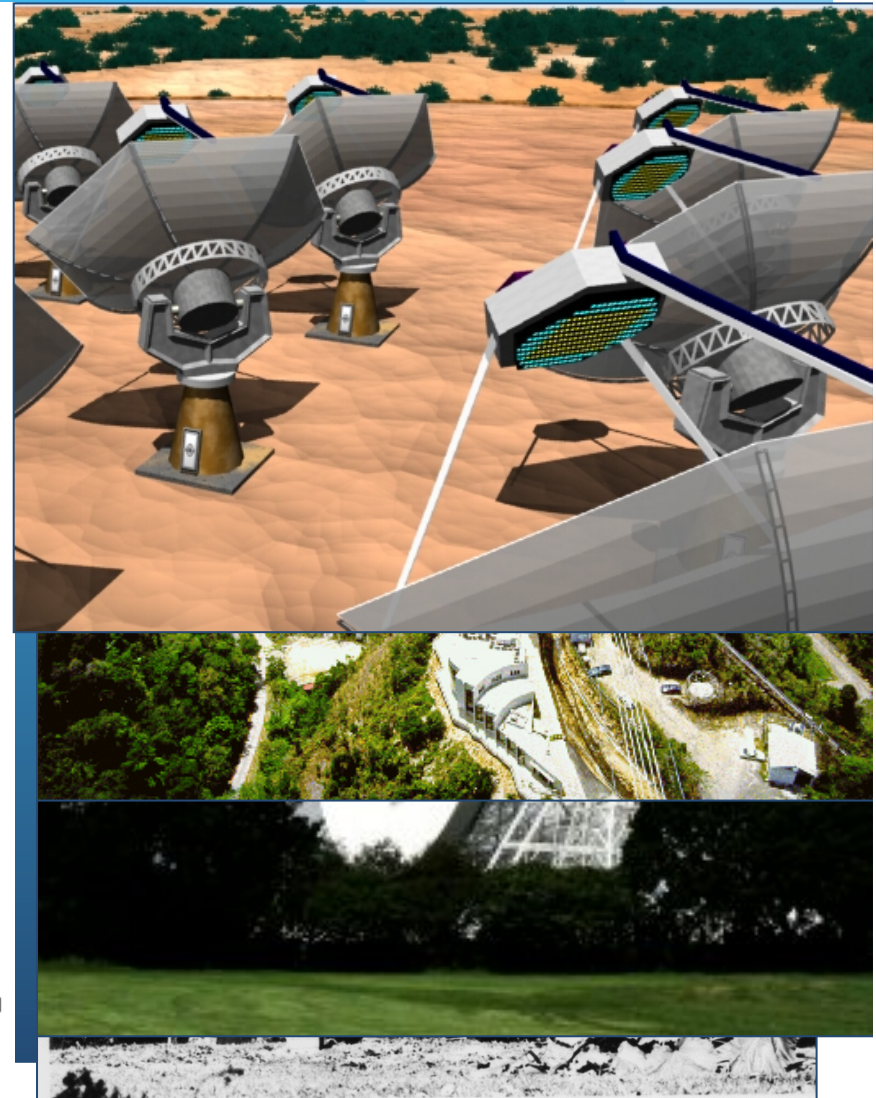
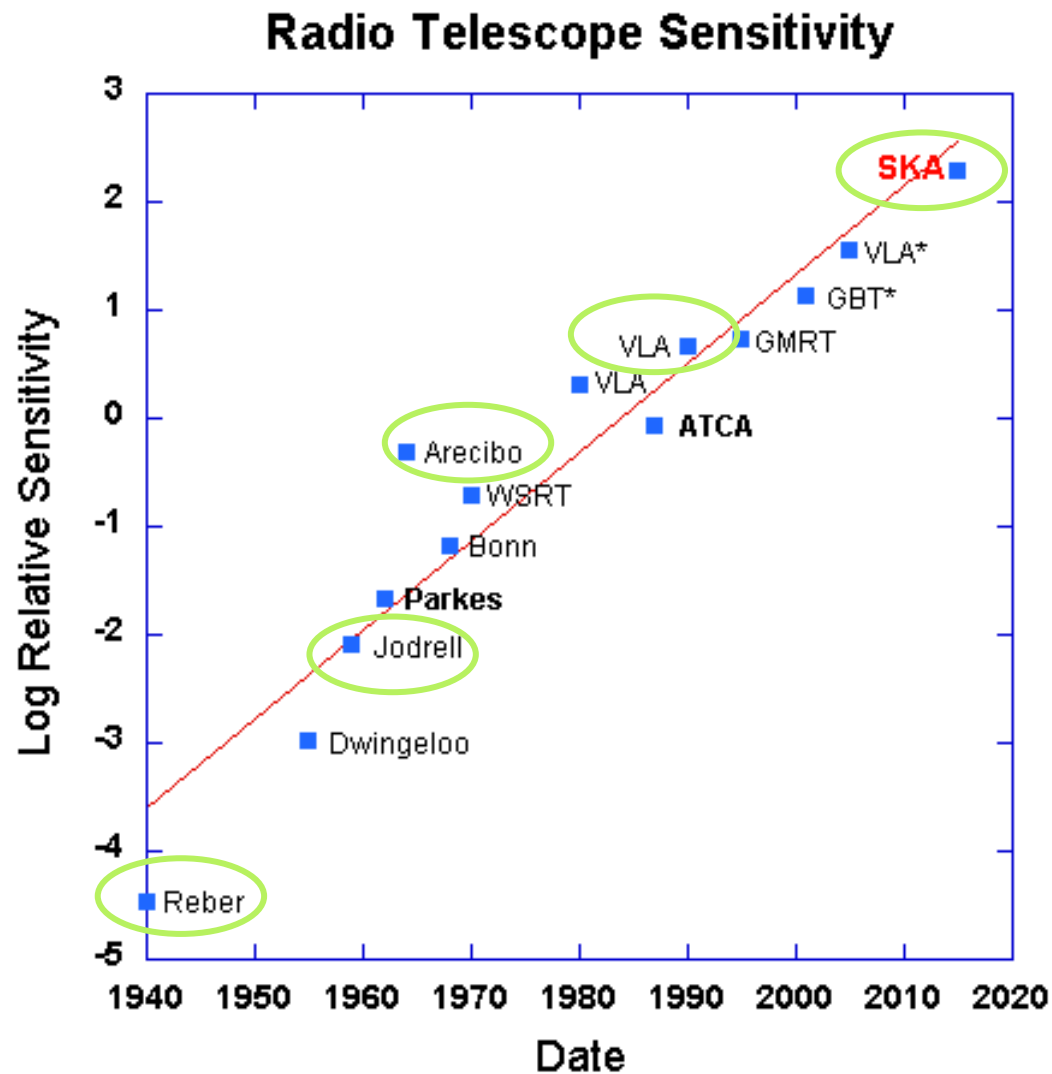
- Sensitivity to increase (100x)
 - current regulations will be inadequate
- Whole of radio spectrum needed
 - 2% of spectrum is reserved for Radio Astronomy
 - early Universe studies require “whole” spectrum, but only to “listen” , and only from a few locations.
- LEO telecom satellites a new threat
 - no place on Earth free from interference from sky

- OECD task force on Radio Astronomy

..... Specifications

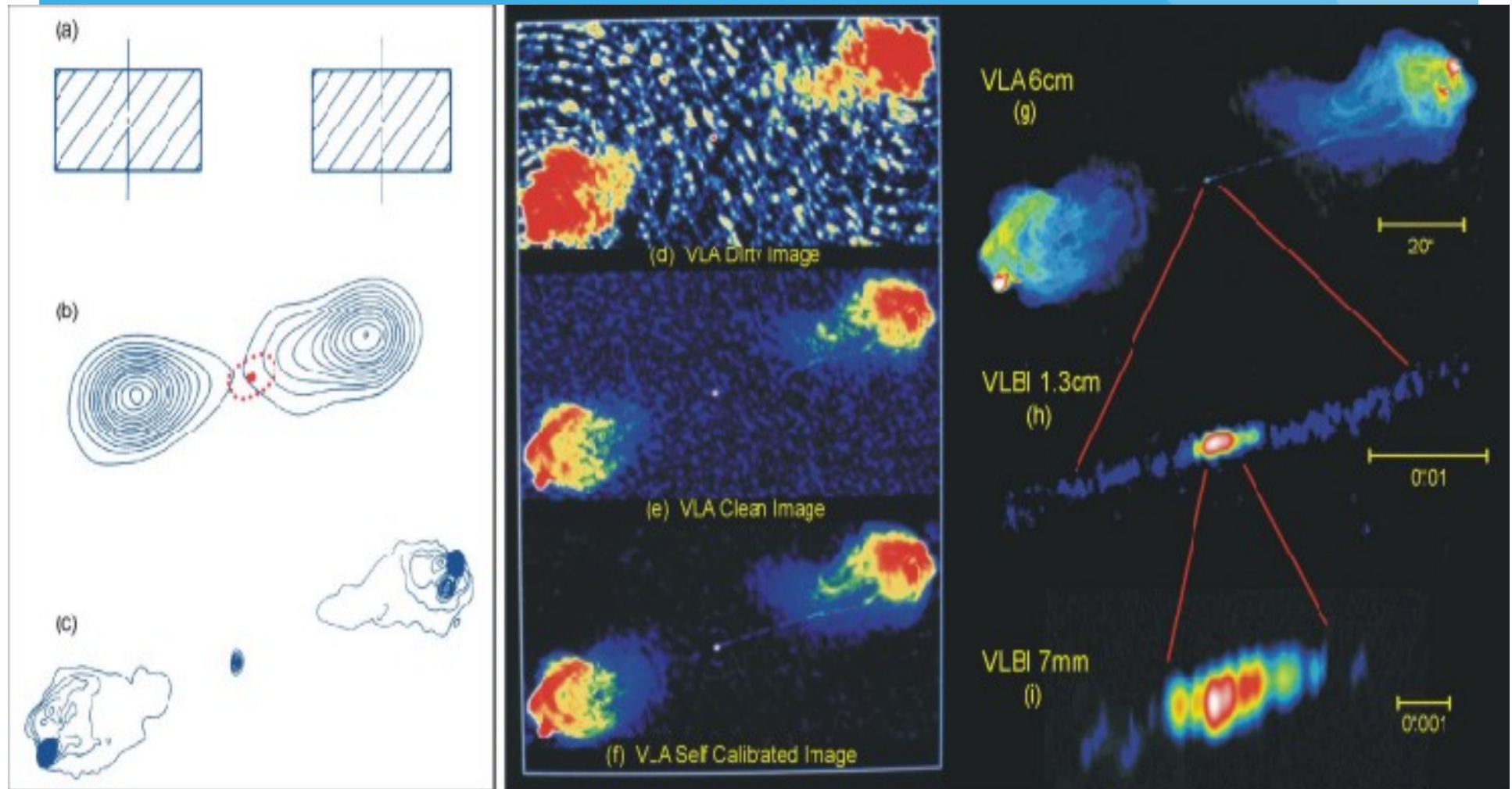
- Multibeam (at lower frequencies)
- Need innovative design to reduce cost
- International funding unlikely to exceed \$1000m
 - 10^6 sq metre $\Rightarrow$ \$1000 / sq metre
 - cf VLA \$10,000 / sq metre (50GHz)
 - GMRT \$1,000 / sq metre (1GHz)
 - ATA \$2,000/sq metre (11GHz)

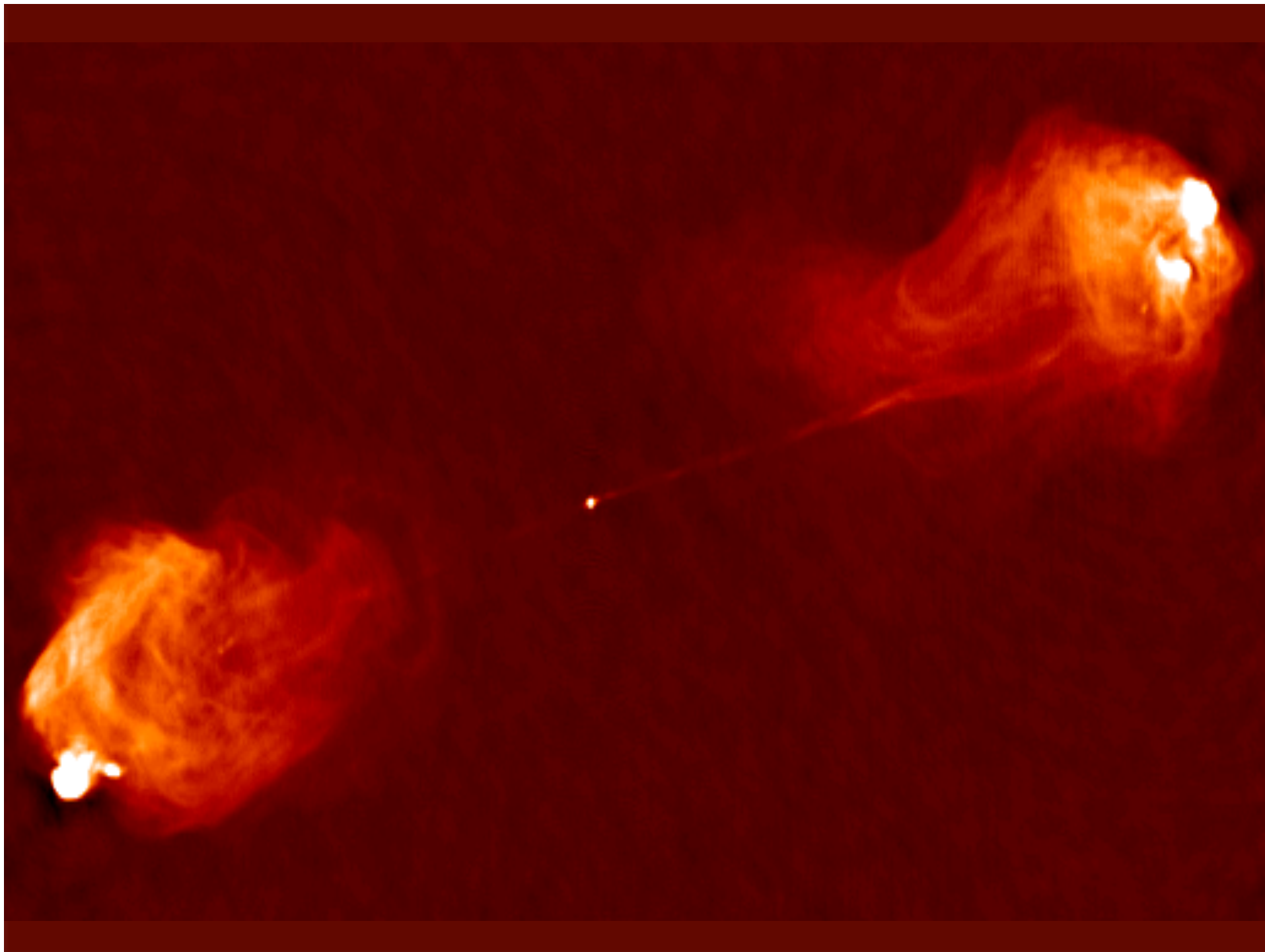
Sensibilità dei RadioTelescopi



Capacità di formare immagini

CYGNUS A - 25 anni





1980



VLA New Mexico

Sussurri dall'Universo

“The encyclopaedia of the Universe is written in very small (21-cm) typescript, to read it one requires a very sensitive telescope.”

“L'enciclopedia dell'Universo è scritta in caratteri minuscoli (21-cm), per leggerla è necessario un telescopio molto sensibile.”

Peter Wilkinson

1990

SKA ha finalmente un nome

1998 - voto per e-mail



Scelta del logo: 2001



March 2010

Ekers, COST Rome

SKA Logo



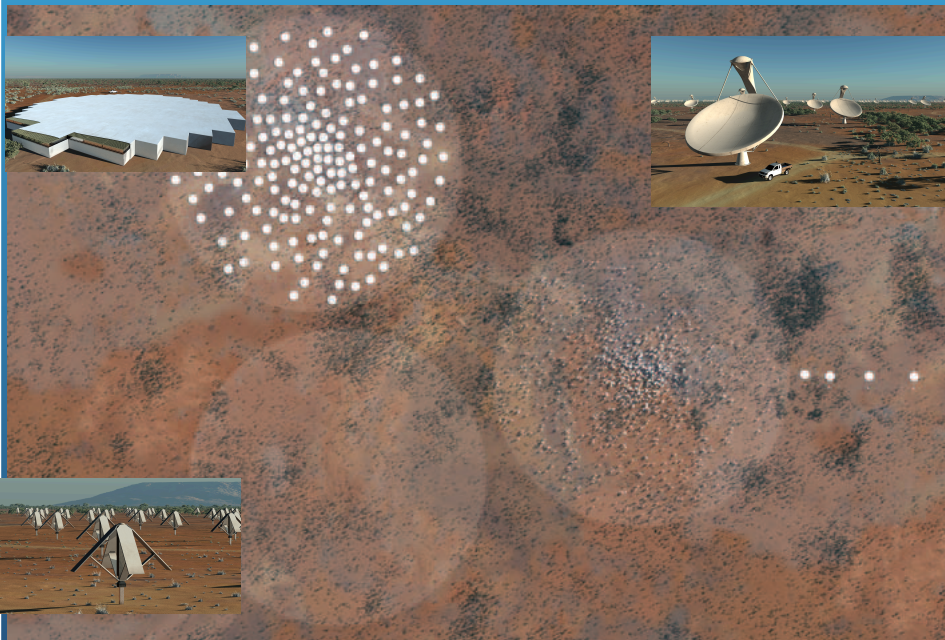
Lo SKA

1 km² di area di raccolta

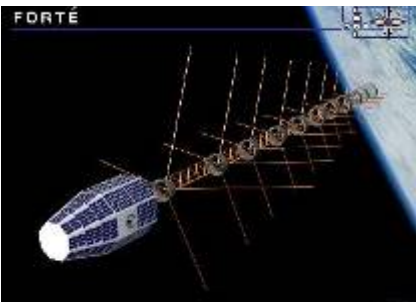
3000 km di estensione

67 organizzazioni da 20 paesi

2 sedi : Sud Africa e Australia

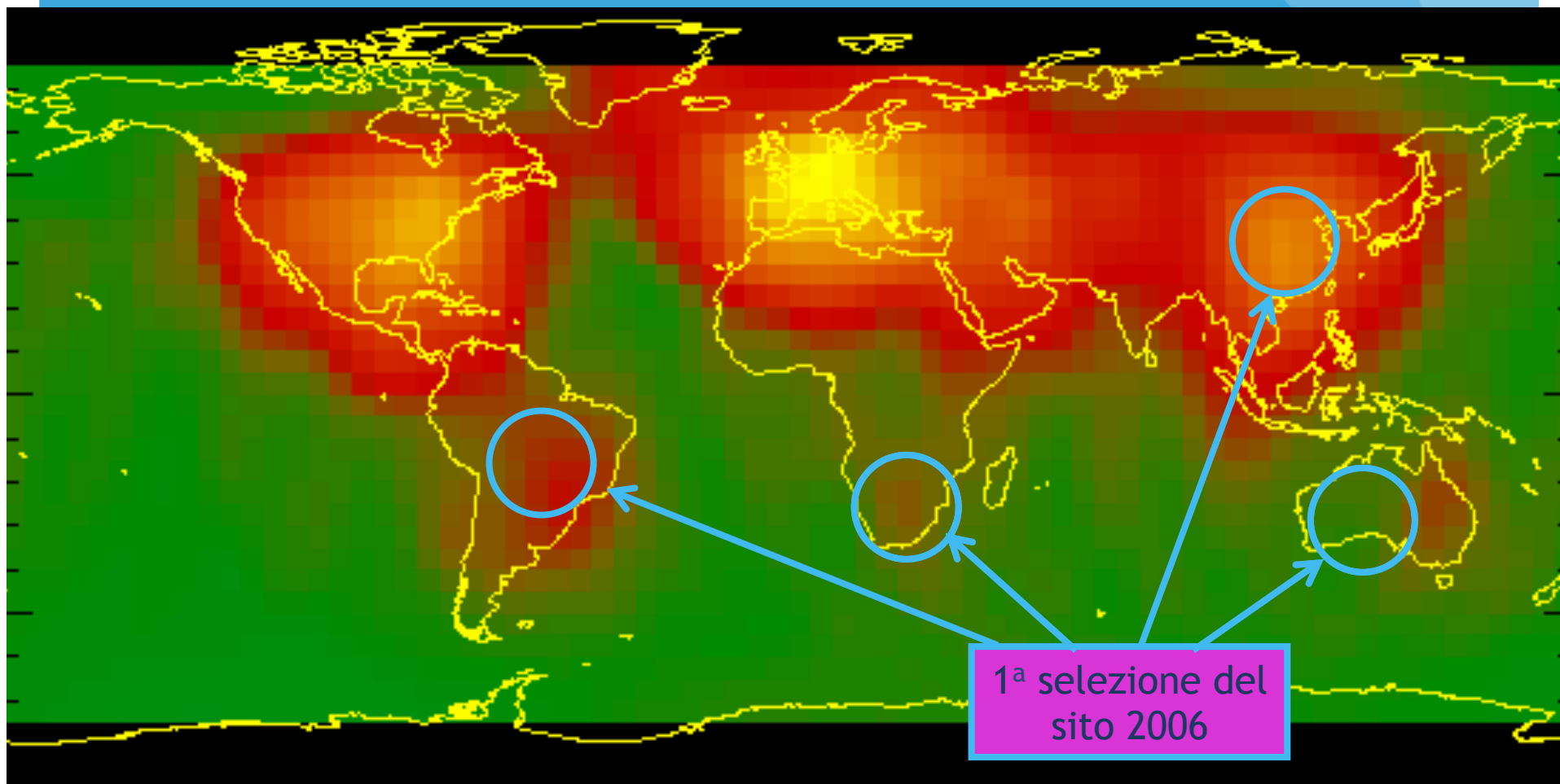


Forma a terra delle stazioni



Le zone più silenziose al mondo: Livelli di Radio-rumore

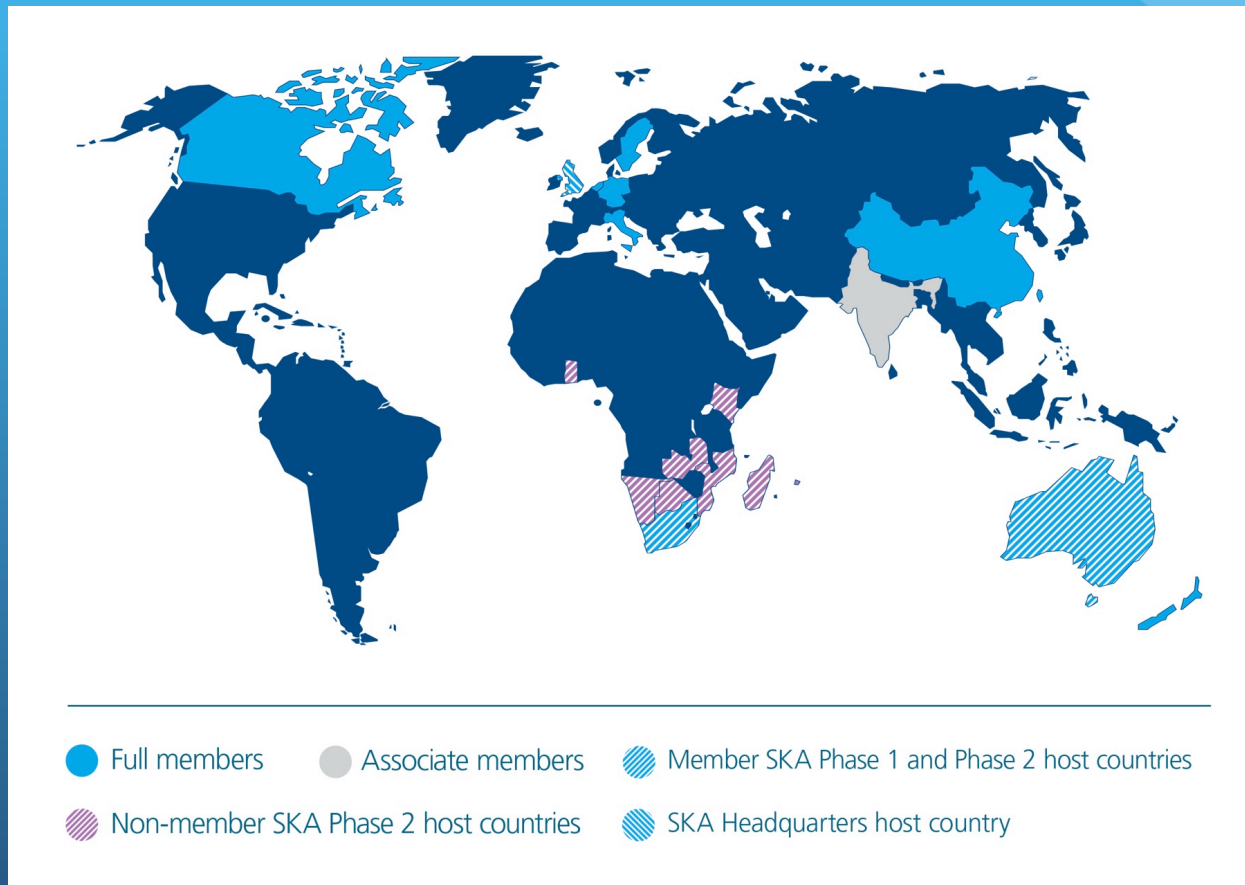
Satellite FORTE: 131MHz



SKA Organization

- 10 stati membri (Australia: Department of Innovation, Industry, Science and Research Canada: National Research Council Cina: National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences Germania: Federal Ministry of Education and Research Italia: Istituto Nazionale di Astrofisica Nuova Zelanda: Ministry of Economic Development Repubblica del Sud Africa: National Research Foundation Svezia: Onsala Space Observatory Paesi Bassi: Netherlands Organisation for Scientific Research Regno Unito: Science and Technology Facilities Council) + India (associato)
- Organizzazione no-profit; quartier generale in Manchester, UK: per le relazioni formali tra i partner internazionali e per una leadership centrale del progetto.
- Supervisione da un comitato direttivo (10 membri votanti)
- Ri-organizzazione delle responsabilità e del caso scientifico

Mappa delle nazioni in SKA



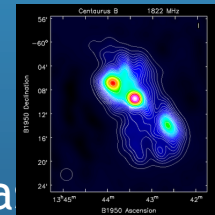
Precursori

- Australia
 - ASKAP (Australian SKA Pathfinder) (36 ant 12 m diametro)
 - MWA (Murchison Widefield Array) 80 - 300 MHz
- Int.l collab: US, Australia, New Zealand e India

<http://www.atnf.csiro.au/projects/askap/>
<http://www.mwatelescope.org/index.html>

- Sud Africa
 - MeerKAT (KAT-7 1.2 - 1.95 GHz)
 - 64+7 antenne: 0.58 - 14.5 GHz/20km ba

<http://www.ska.ac.za/meerkat/index.php>
<http://www.ska.ac.za/meerkat/kat7.php>



Quartier generale SKA O



Comitato Direttivo Internazionale di SKA

- 18 membri in rappresentanza di 11 nazioni
 - 6 europei (UK, Germania, Paesi Bassi, Svezia, Italia, Polonia)
 - 6 United States
 - 2 Canada
 - 2 Australia
 - 1 Cina
 - 1 India
 - 2 membri consultivi



- MOU firmato all'assemblea IAU a Manchester agosto 2000

Africa: SKA-mid (media frequenza)

Sud Africa + 8 nazioni



KAT-7 - MeerKat

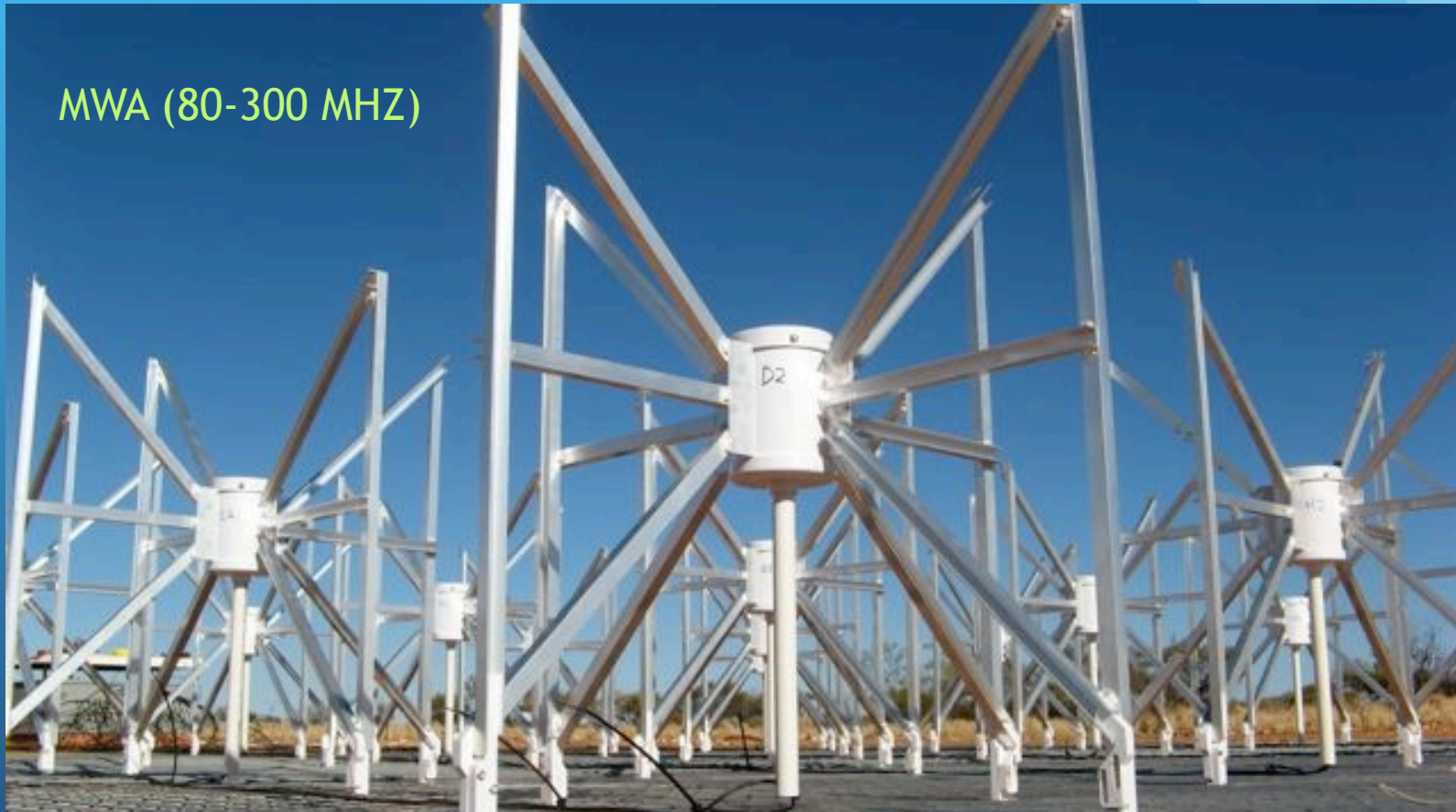
Australia: SKA-low + SKA-sur

ASKAP - 36 antenne da 12m Phased array feed (PAF)

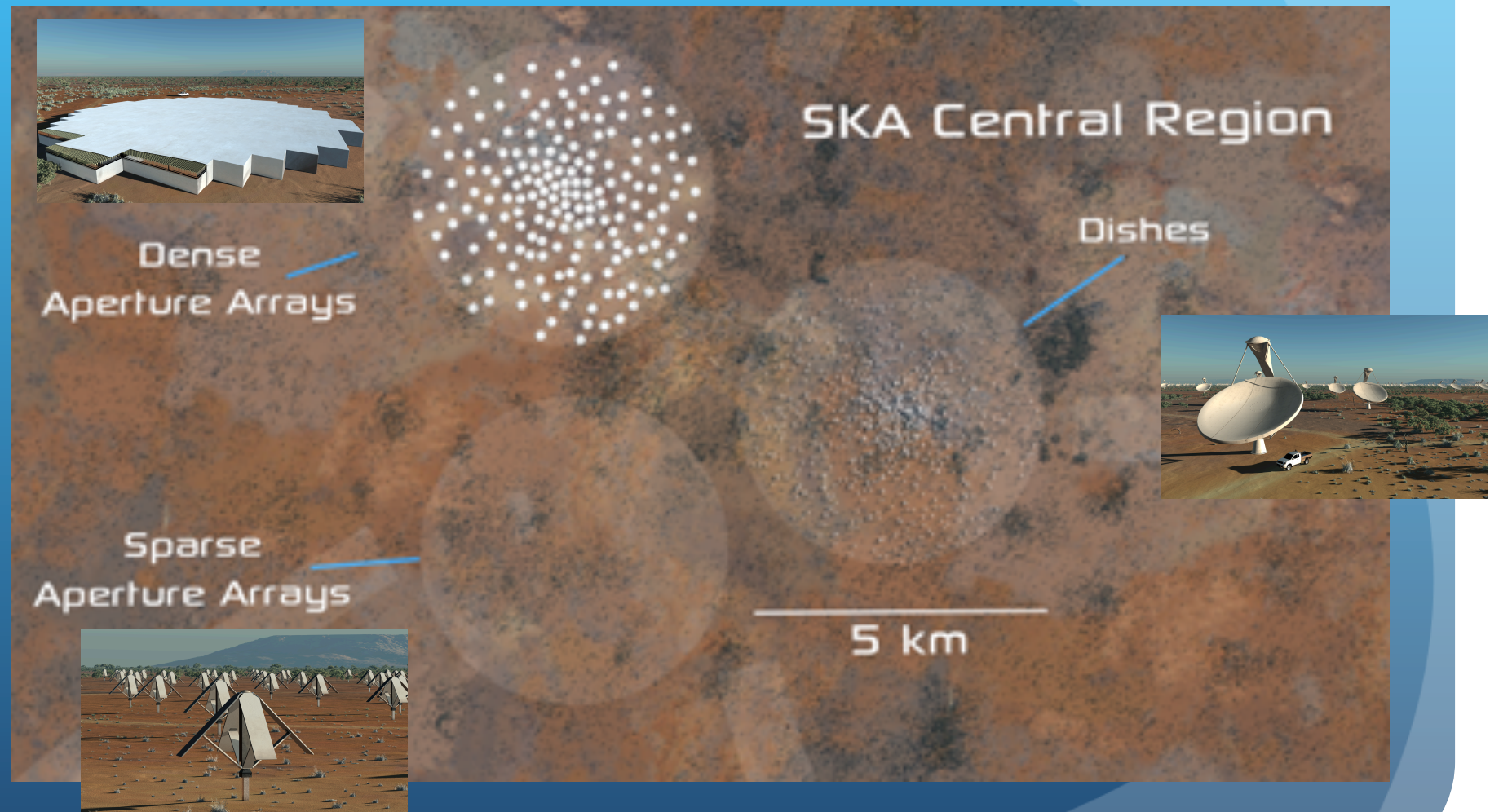


Australia: SKA-low + SKA-sur

MWA (80-300 MHz)



Stazione di antenne



Un po' di numeri

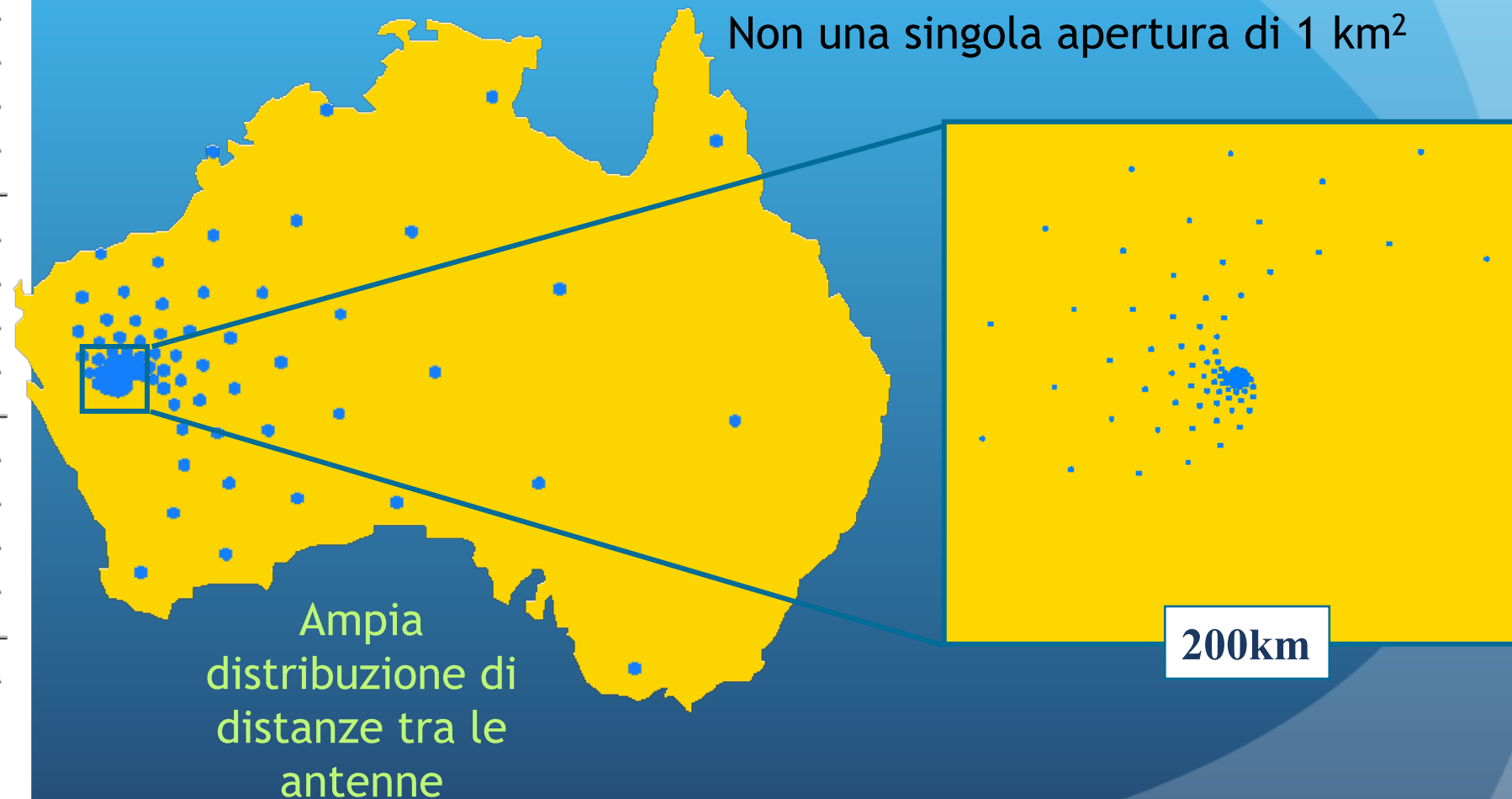
- L'area totale equivale a 150 campi da calcio o 4000 campi da tennis
- 20 stati hanno investito soldi: 120 M Eur per finanziare ca. 500 scienziati e tecnologi per progettare SKA.
- Marzo 2014: il Regno Unito impegna £100M per la costruzione di SKA construction. Questo si somma alle centinaia di milioni di Euro del contributo dei paesi ospiti, Australia e Sud Africa, per la costruzione dei precursori di SKA: ASKAP, MWA e MeerKAT.
- L'Italia deve ancora ratificare la quota (entro due anni)

Tappe del progetto

- 1991 Prima idea
- 2008-2012 Progetto e bilancio. (1500MEur?)
- 2012 Decisione sul sito: Sud Africa + Australia/NZ
- 2013-2015 Progetto dettagliato e tecnologia di produzione
- 2018 Inizio della costruzione della Fase 1. (Fase 2 in 2018?)
- 2019 Prime osservazioni scientifiche?
- 2023 Termine della costruzione e verifiche tecniche.
- 2024 Pienamente operativo.

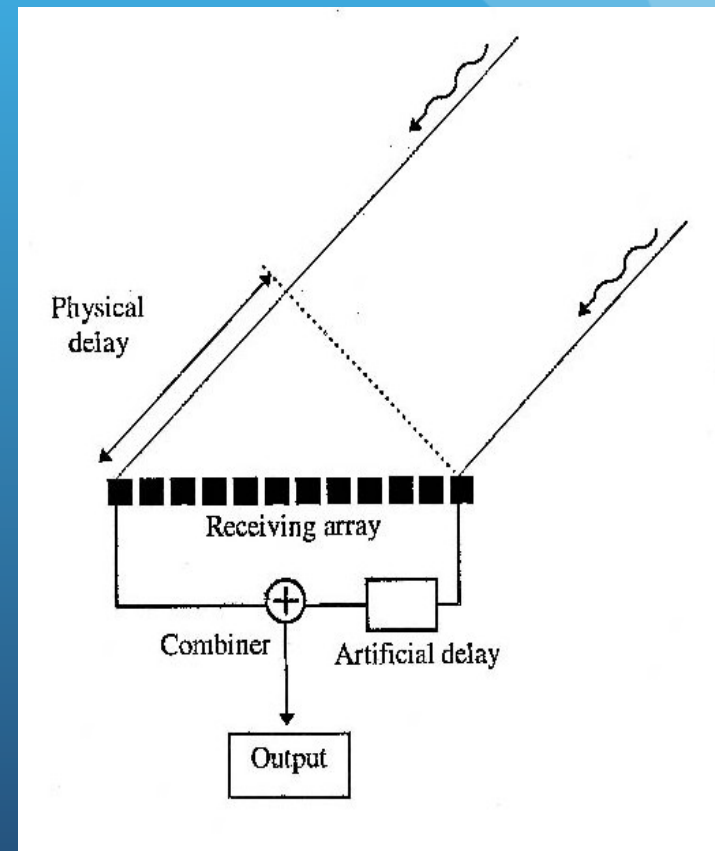
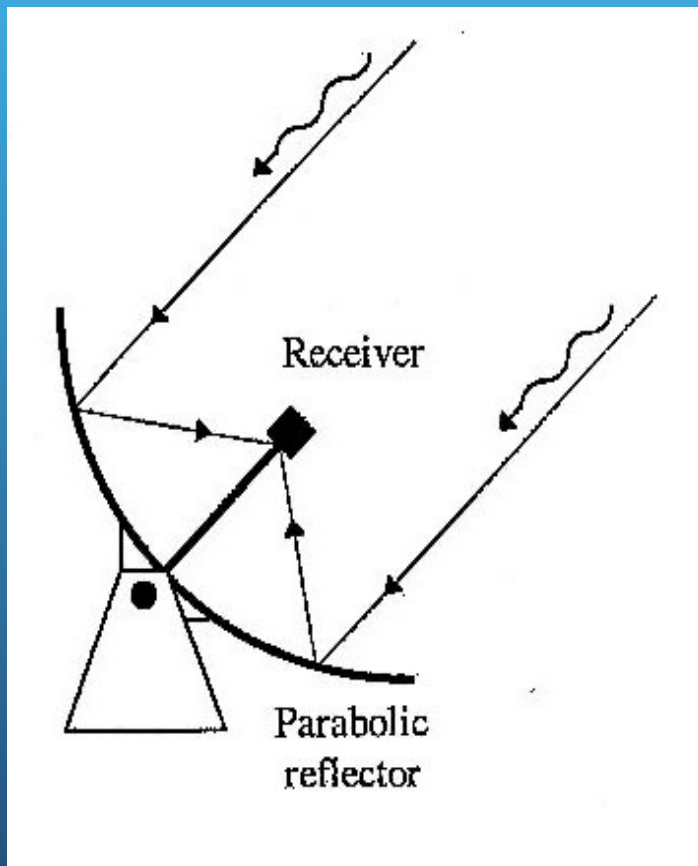
http://www.skatelescope.org/wp-content/uploads/2011/03/SKAOfficialAnimation_2010_with-swinburnelogo.mov

Un esempio della configurazione di SKA

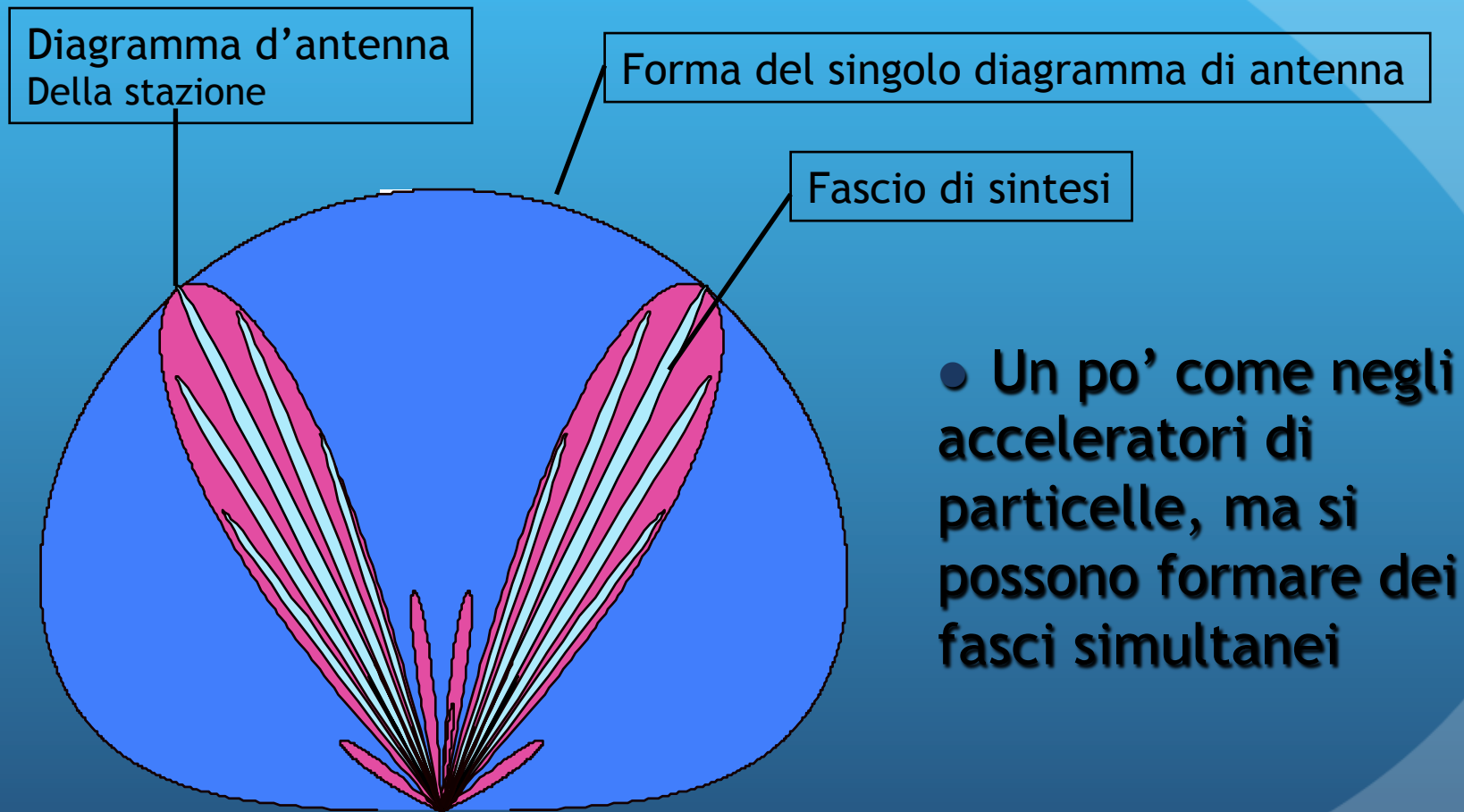


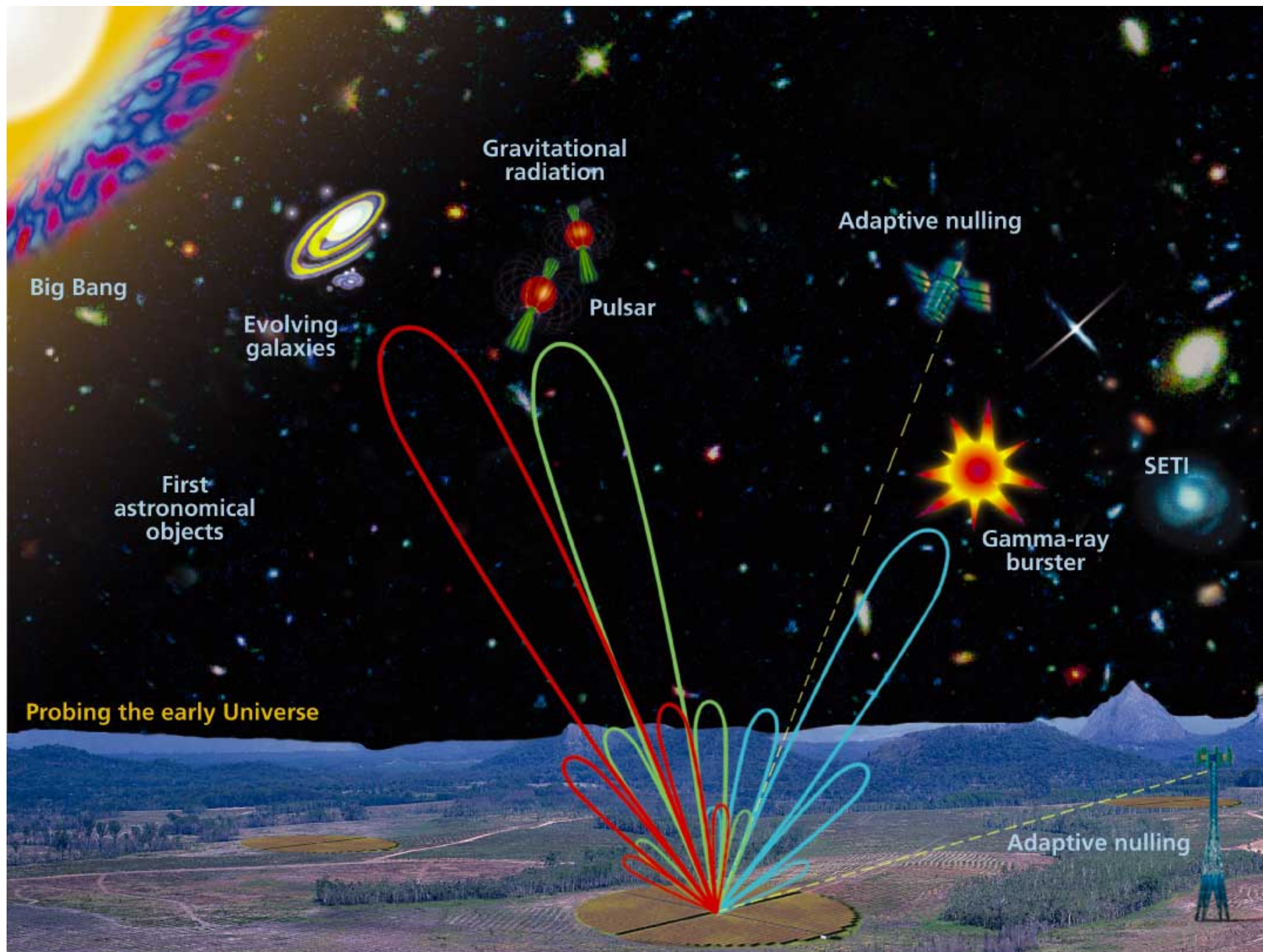
Concetto del Phased array

Idea di base: sostituire puntamento meccanico pointing con la formazione del fascio in modo elettronico



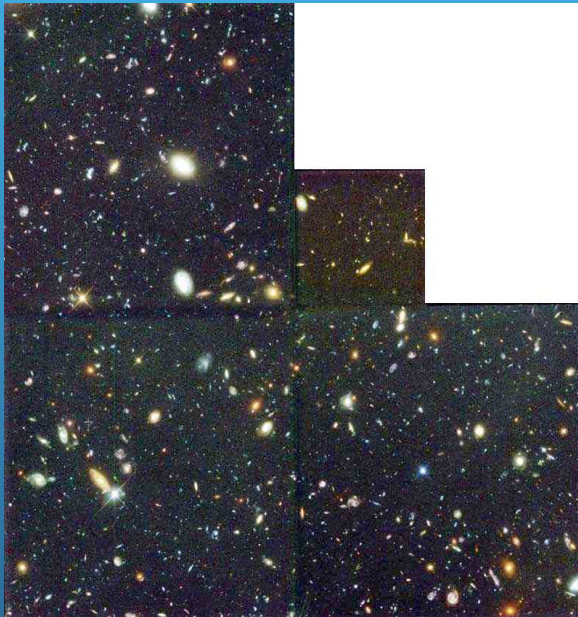
Costruire diversi fasci d'antenna





Sensibilità prevista

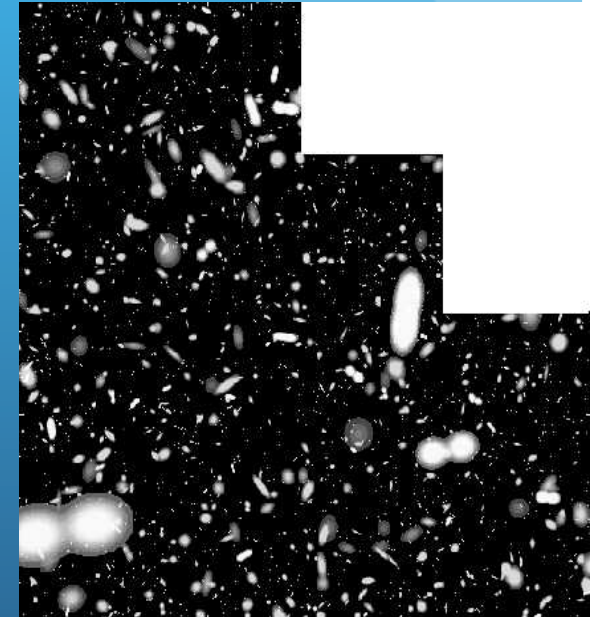
Hubble Deep Field



VLA



Simulated SKA



50 ore a 8.7 GHz produce
6 sorgenti a $>12 \mu\text{Jy}$

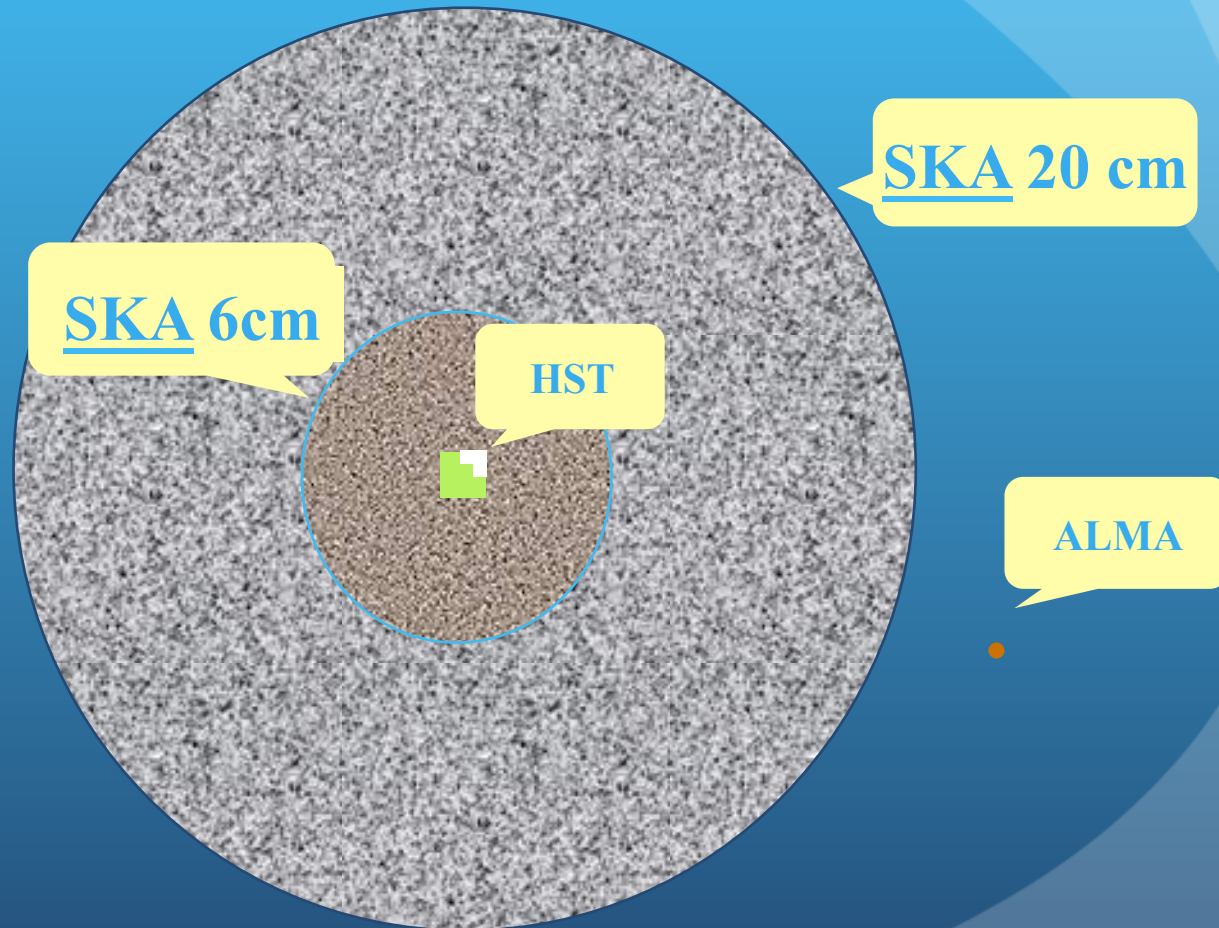
Sensibilità $1 \mu\text{Jy}$
a 1.4 GHz
(e questo è solo un piccolo pezzo
dell'intero campo di vista)

images courtesy R. Ekers

SKA: 1° campo di vista a $\lambda = 20\text{cm}$

Ottimo per le survey e gli eventi rari in 10^6 galassie !

15 Mpc at $z = 2$



No Correlator if Moore is Wrong

- Capacity

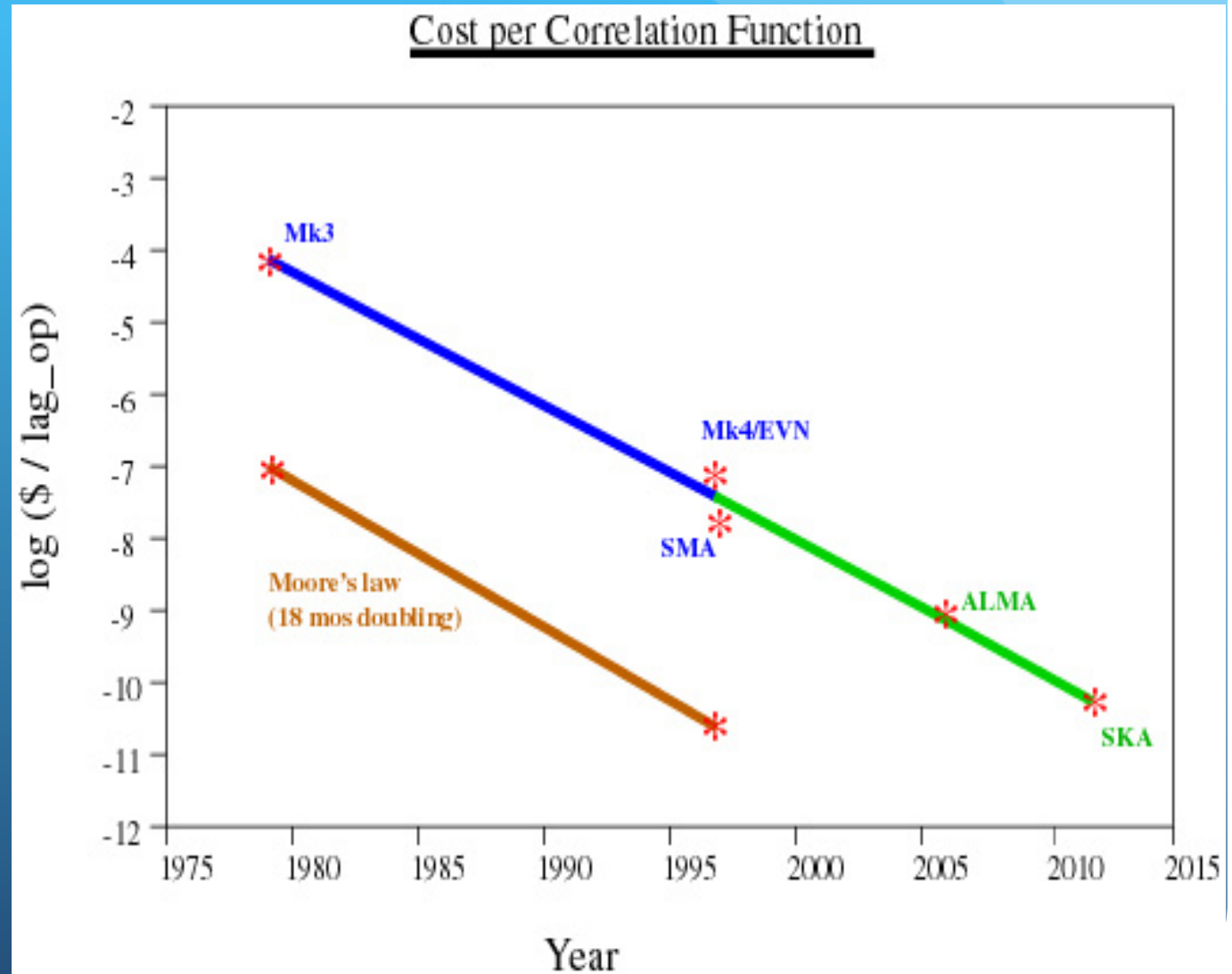
- >1000 stns
- Spectral-lines
- Multiple beams
- Sub-arrays

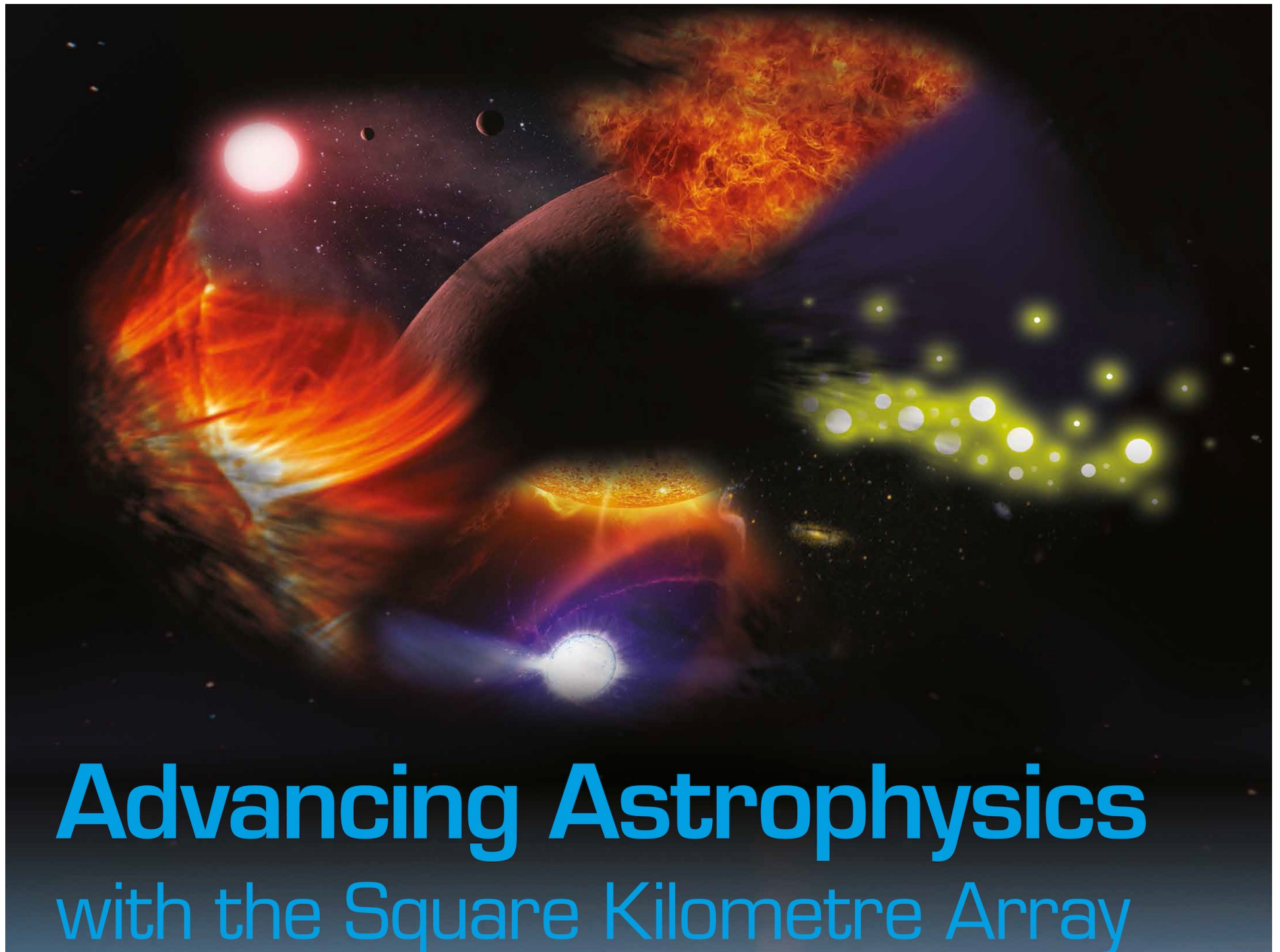
- Cost

- \$75 M in 2011
- 1 GHz clock

- XF design

- Not feasible today



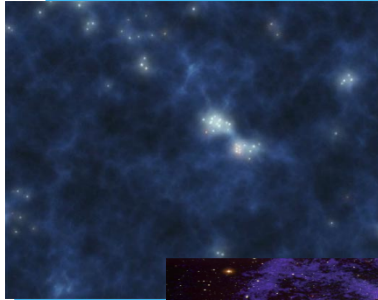


Advancing Astrophysics with the Square Kilometre Array

Formation and Evolution of Galaxies • The Dawn of Galaxies: Searching for the Epoch of First Light • 21-cm Emission and Absorption Mechanisms • Preheating the IGM • **SKA Imaging of Cosmological HI** • Large Scale Structure and Galaxy Evolution • A Deep SKA HI Pencil Beam Survey • Large scale structure studies from a shallow, wide area survey • The Ly- α forest seen in the 21-cm HI line • **High Redshift CO** • Deep Continuum Fields • Extragalactic Radio Sources • The SubmicroJansky Sky • Probing Dark Matter with **Gravitational Lensing** • Activity in Galactic Nuclei • The SKA and Active Galactic Nuclei • Sensitivity of the SKA in VLBI Arrays • Circum-nuclear MegaMasers • H₂O megamasers • OH Megamasers • Formaldehyde Megamasers • The **Starburst** Phenomenon • **Interstellar Processes** • HII Regions: High Resolution Imaging of Thermal Emission • Centimetre Wavelength Molecular Probes of the ISM • **Supernova Remnants** • The Origin of Cosmic Rays • Interstellar Plasma Turbulence • Recombination Lines • Magnetic Fields • Rotation Measure Synthesis • Polarization Studies of the Interstellar Medium in the Galaxy and in Nearby External Galaxies • Formation and Evolution of Stars • Continuum Radio Emission from Stars • Imaging the Surfaces of Stars • Red Giants and Supergiant Stars • Star Formation • Protostellar Cores • Protostellar Jets • Uncovering the Evolutionary Sequence • Magnetic Fields in Protostellar Objects • Cool Star Astronomy • The Radio Sun • Observing Solar Analogs at Radio Wavelengths • Where are the many other Radio Suns? • Flares and Microflares • X-ray Binaries • Relativistic Electrons from X-ray Transients • The Faint Persistent Population • Imaging of Circumstellar Phenomena • Stellar Astrometry • Supernovae • Radio **Supernovae** • The Radio After-Glows of **Gamma-ray Bursts** • Pulsars • Pulsar Searches • **Pulsar Timing** • Radio Pulsar Timing and General Relativity • Solar System Science • Thermal Emission from Small Solar System Bodies • Asteroids • Planetary Satellites • **Kuiper Belt Objects** • Radar Imaging of Near Earth Asteroids • The Atmosphere and Magnetosphere of Jupiter • Comet Studies • Solar Radar • Coronal Scattering • Formation and Evolution of Life • Detection of **Extrasolar Planets** • Pre-Biotic Interstellar Chemistry • The Search for **Extraterrestrial Intelligence**

Scienza con SKA

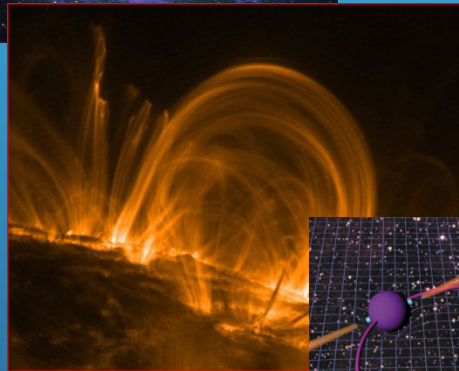
I casi scientifici



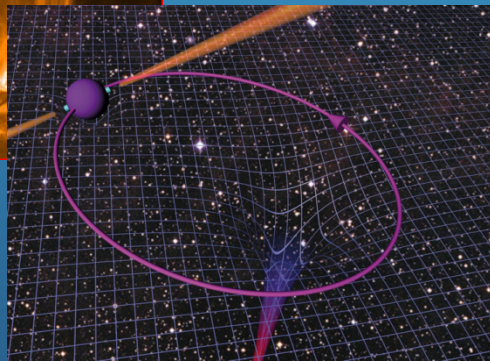
Le prime stelle



Evoluzione Cosmica



Magnetismo Cosmico



Gravità



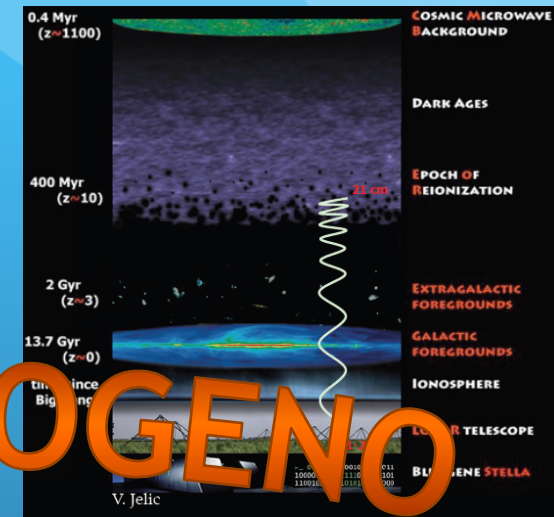
Origini della vita

Sondare il Medioevo stellare: i primi buchi neri e le prime stelle

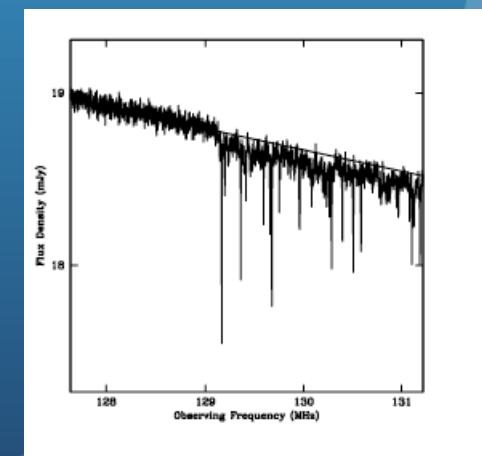


TELESCOPIO IDROGENO

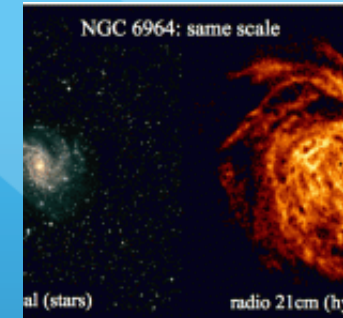
- Osservazioni “tomografiche” dell’emissione di HI durante l’epoca di re-ionizzazione (da materiale neutro a grumi ionizzati di materia -> stelle) mappe 3D
- Foresta a 21-cm (piccole sovradensità di HI nella direzione di sorgenti primordiali brillanti)



Carilli+02
z=10 100 hr SKA



Evoluzione cosmologica e Energia Oscura

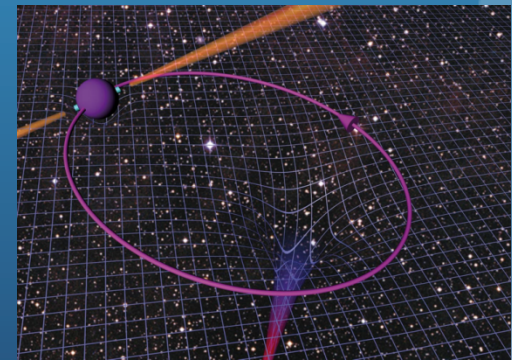


- ## TELESCOPIO IDROGENO
- Emissione a 21 cm: traccia la massa - sonda cosmologica
 - Componente barionica primaria dell'Universo
 - Formazione & evoluzione delle galassie
 - “Survey di un Miliardo di Galassie”
 - Energia oscura: distorsione della distribuzione dei redshift e lenti gravitazionali
 - Distribuzione di HI ad alto z per seguire l'accumularsi di gas alle diverse epoche

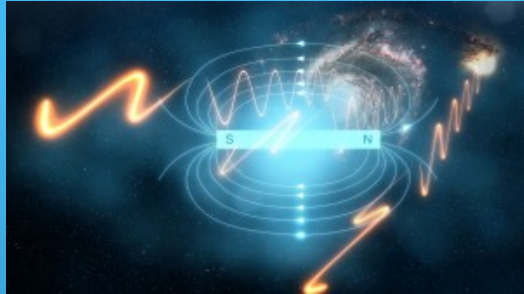
Test della gravità con campi forti (pulsars & BHs)



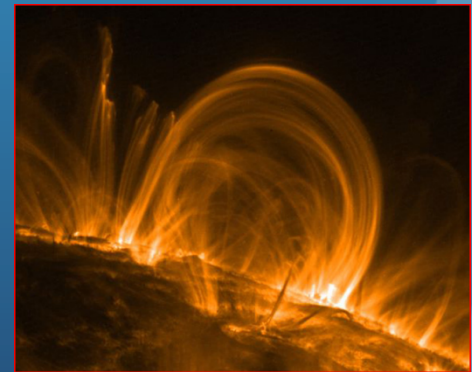
- Einstein aveva ragione? (GR e QM predicono lo stesso Universo nel caso di campi gravitazionali forti?)
- Test: una pulsar in orbita intorno a un buco nero
- PTA per rivelare onde gravitazionali



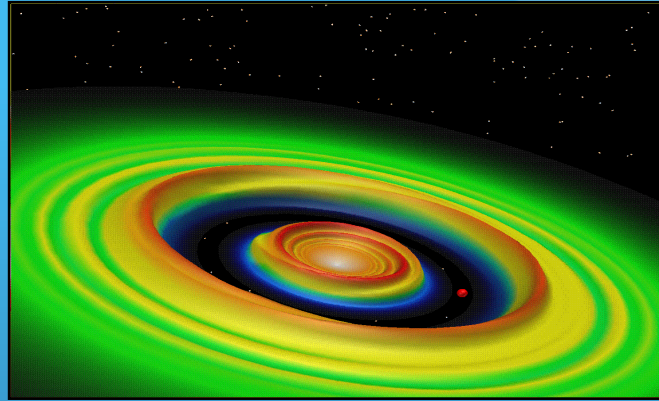
Origine & evoluzione del magnetismo cosmico



- I campi magnetici sono ovunque (intensità varia di 10^{18})
- Rotazione Faraday delle radiogalassie di fondo
- Mappa 3D del campo magnetico nella Via Lattea
- Effetto globale della polarizzazione in altre galassie
- RM 10^3 meglio del JVLA
- Origine di B - evoluzione
- B in IGM?



Culla della vita - ricerca di vita & pianeti



- Vita su altri mondi?
- I pianeti non mancano
- Ricerca nella “zona abitabile” di protostelle simili al Sole (emissione termica dalla polvere)
- Meccanismo di formazione dei pianeti giganti (cavit  nei dischi protoplanetari)
- “super”-SETI: vedere la TV da pianeti vicini; il radar di un aeroporto sar  visibile fino a 50 anni luce da noi!

Problemi e scelte

Decisioni da prendere

Pochi $\longleftrightarrow$ N_{elementi} $\longrightarrow$ Molti

\$ $\longleftrightarrow$ Costo/Elemento $\longrightarrow$ \$\$\$\$\$\$

Piccolo $\longleftrightarrow$ Campo di Vista $\longrightarrow$ Grande
(Fascio Primario)

Larghezza di Banda vs. N_{fasci}

Quanti elementi?

Punti chiave

- La stessa area di raccolta con tante antenne piccole costa meno che una grande (costo $\propto D^{2.7}$)
- Numero di elementi N più grande implica più rivelatori, più fibre e un correlatore più capace
- N più grande permette più linee di base, miglior copertura del piano $u-v$ (immagini più dettagliate)
- Antenne piccole hanno un campo di vista **primario più grande** (ma osservazioni/calibrazioni sono più complesse a λ piccolo)

Software

- Servono processori da 100 petaflops/sec, ~ 50 volte più potenti del più potente supercomputer del 2010; equivalente a circa **un miliardo di** PC (in tempo reale)
- Servono nuovi modi di analizzare i dati
- È necessario archiviare i dati in modo “furbo”
- Vengono prodotti 10^{15} bit/sec (petabits) di dati

Problemi di calcolo

- $N(N-1)/2$ = milioni
- $N(N-1)/2$ x numero di canali = miliardi
- >1 GHz larghezza di banda
- Connessione
 - Fibre dedicate?
 - Internet di nuova generazione?
 - Cablaggio tra correlatore e processore
- Analisi Dati (Fondamentale)
 - Calibrazione e produzione di immagini
 - Conservazione, sfruttamento

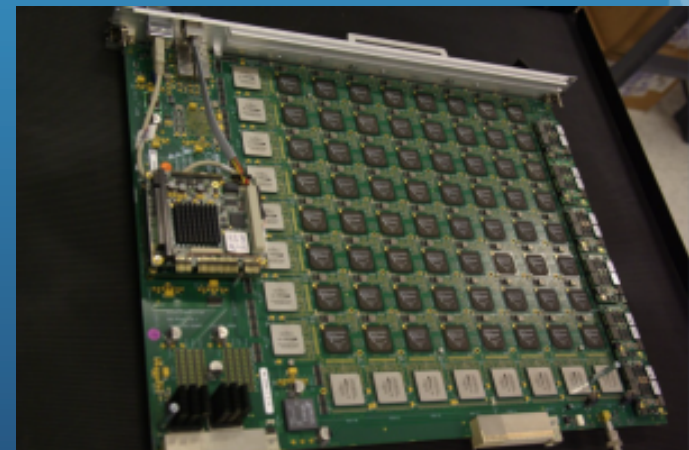
Trasporto del segnale

- ~ 160 Gigabit/sec di dati trasmessi da ogni antenna al processore centrale: **10 volte** il traffico attuale di Internet! Le antenne a media frequenza (aperture array) aumentano fino a molti Petabits (10^{15})/sec :>**100 volte** il traffico di Internet!
- Fibre ottiche per: temporizzazione e sincronizzazione, monitoraggio e controllo, trasmissione dati dai rivelatori al correlatore, connessione con il mondo esterno/utenti.

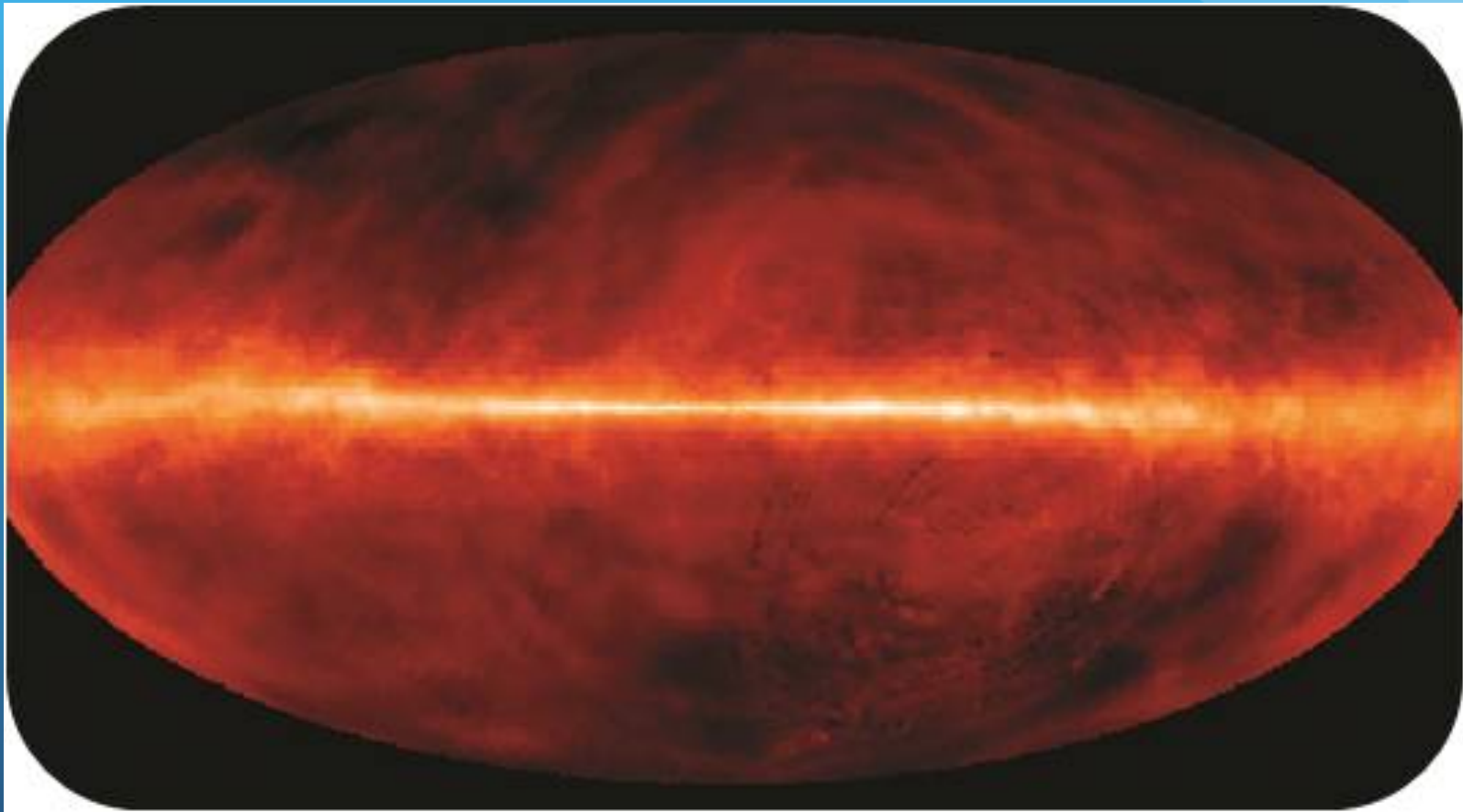
Analisi del segnale

- Pre-Processamento
- Formazione del fascio di antenna
- Auto-rivelazione
- Sviluppo di Algoritmi
- Processamento

EVLA correlator board (ASICs)



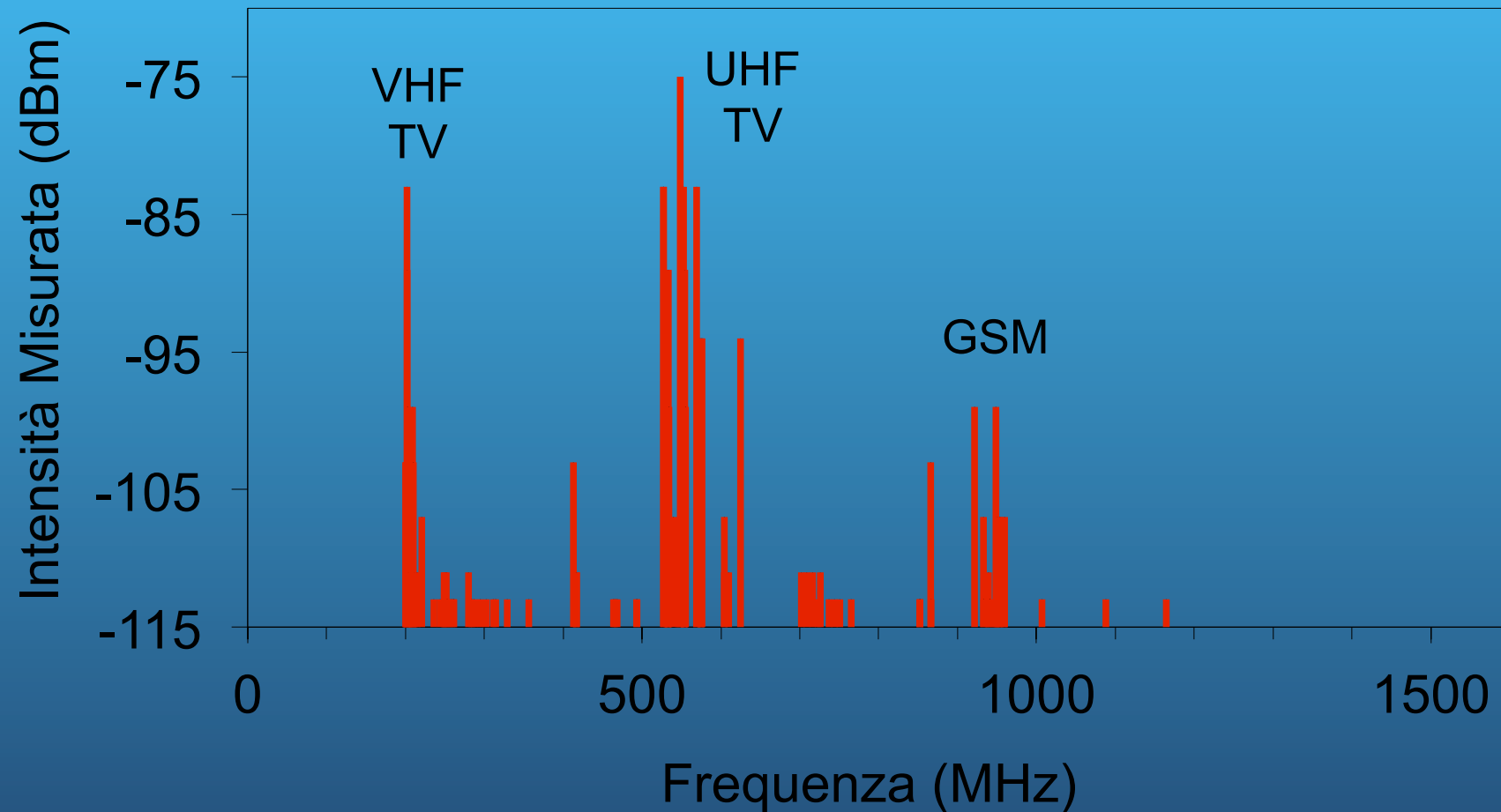
La Via Lattea



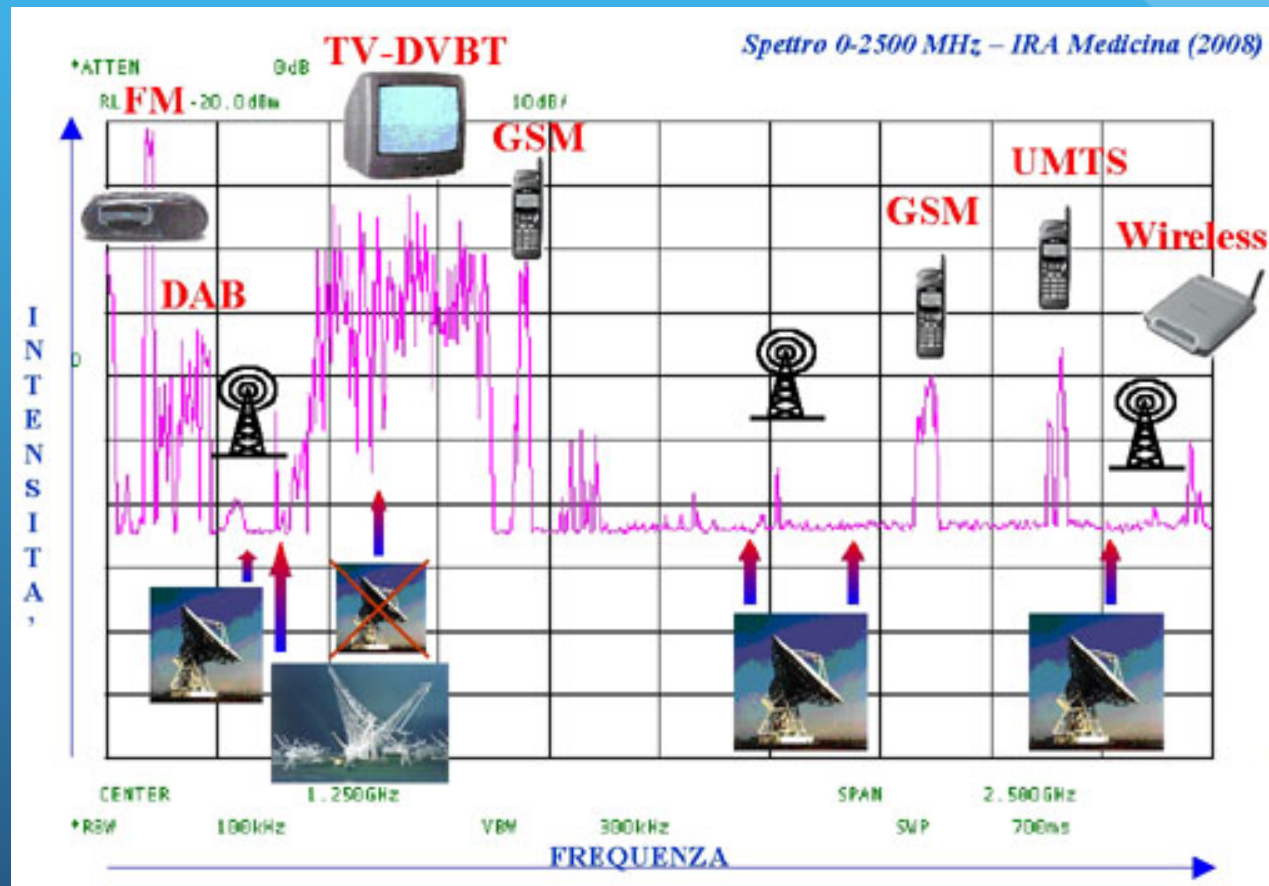
Interferenza a Molonglo

200-1500 MHz

(Misurato 25 giugno 2001)



Bande radio protette (2% del totale!)



Aspettative

- Gli astronomi vogliono la miglior scienza possibile
 - Attenzione a non focalizzarsi sulla scienza corrente - progetto flessibile
- Governi vogliono aumentare investimenti, legami e prestigio internazionale
- Le industrie vogliono i contratti e la “cross fertilizzazione”

Visione di SKA: immagini di galassie in HI con risoluzione $<1''$



→ ~100x sensibilità del VLA

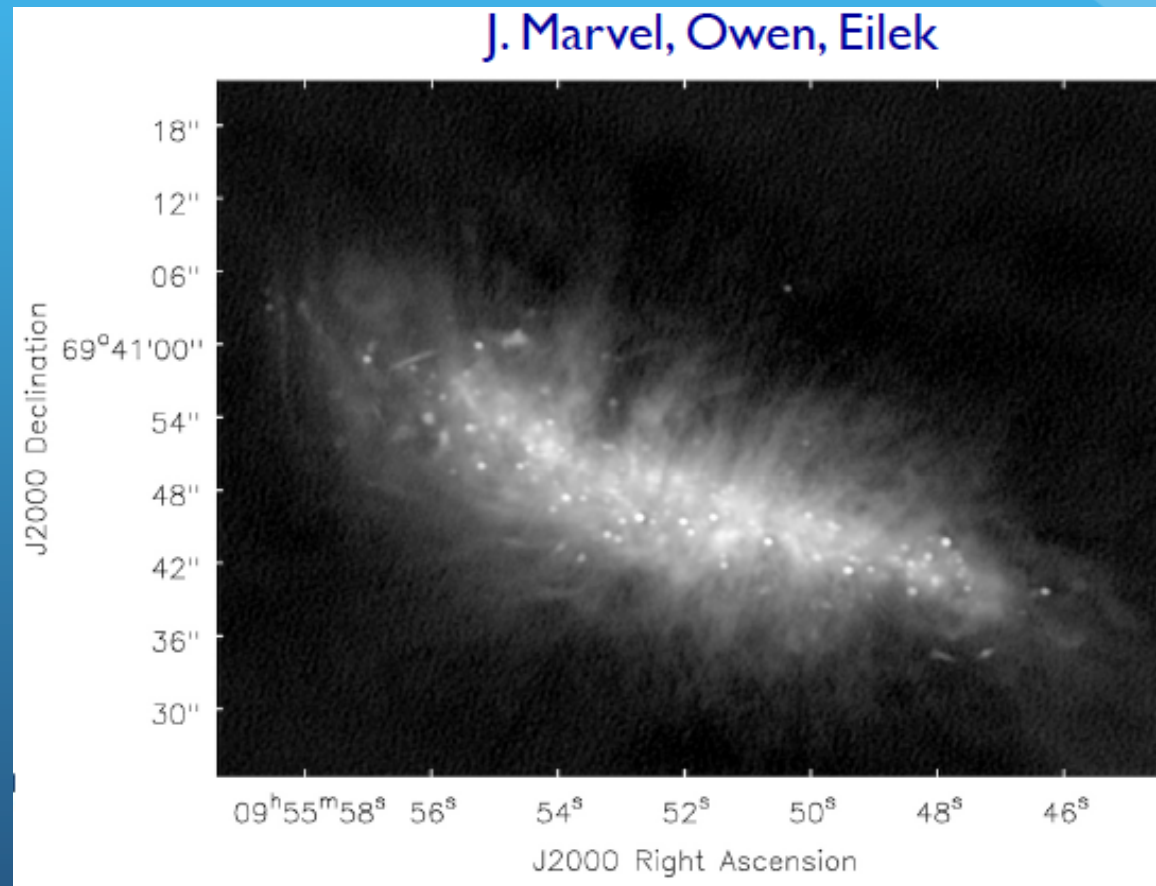
→ ~1 sq km area di raccolta

→ dinamica delle galassie locali in gran dettaglio

→ Rivelare galassie ad alto z in HI e con l'emissione di sincrotrone

(Immagine da Mundell et al.)

M82 – riusciremo a vedere così le prime galassie?



Ma quanto mi costi?

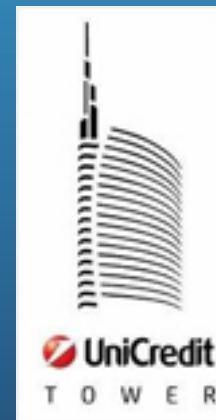
~ 1,5 Miliardi Euro

= 50 km di autostrada (30 della tangenziale di Mestre..)

= 5 volte costo [già pagato] per il ponte sullo Stretto

= ½ costo Torri Porta Nuova

PROGETTO INTERNAZIONALE







The Square Kilometre Array

SWINBURNE ASTRONOMY PRODUCTIONS