Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

News from CHORD

Thursday 08 May – h 15:00

Area Ricerca di Bologna

Andrea Possenti

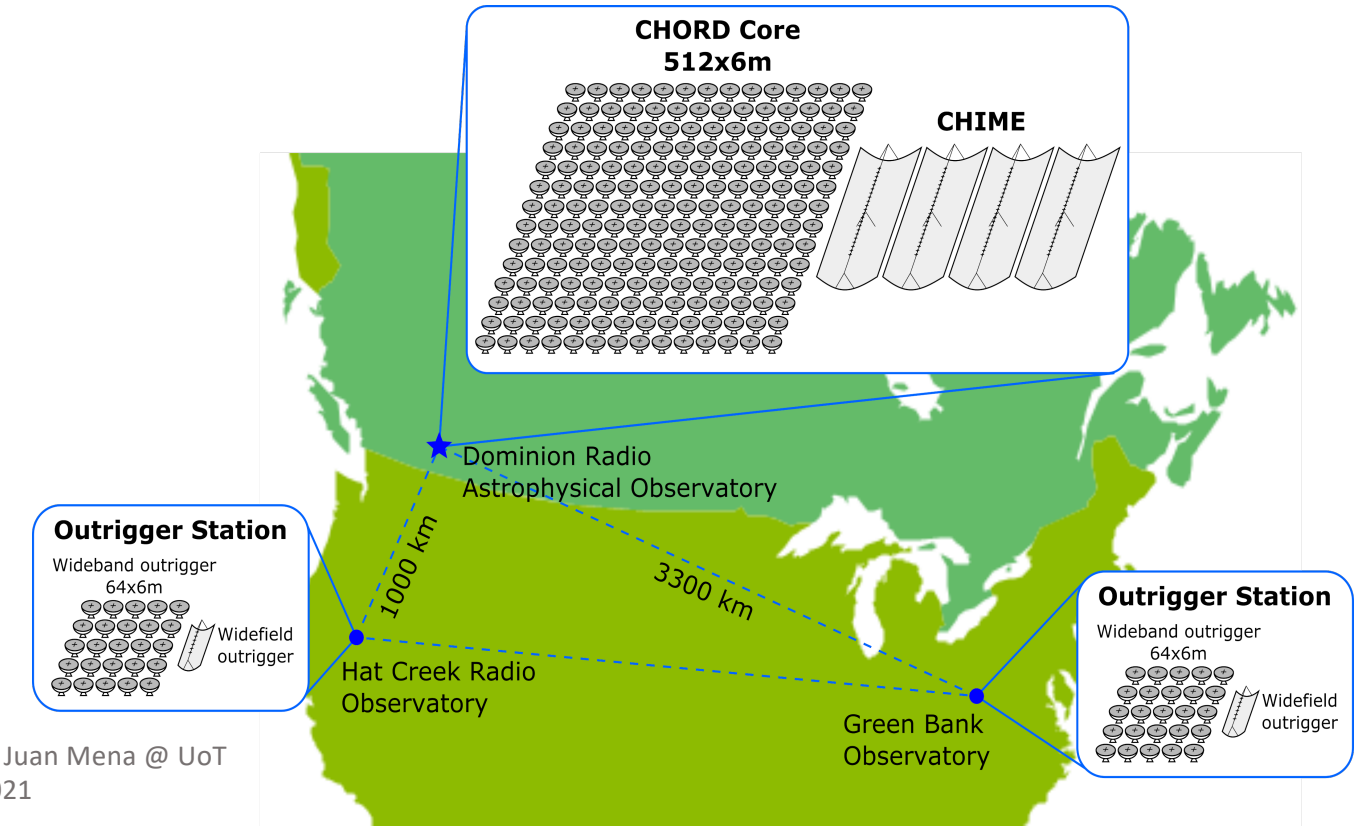
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

The members of the CHORD collaboration

McGill
University of Toronto
University of Calgary
NRC-CNRC
National Research Council Canada
West Virginia University
Perimeter Institute for Theoretical Physics
INAF Istituto Nazionale di Astrofisica
RMC CMR
NRAO
University Of British Columbia
Massachusetts Institute of Technology

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

Geographic location of CHORD



© Juan Mena @ UoT 2021

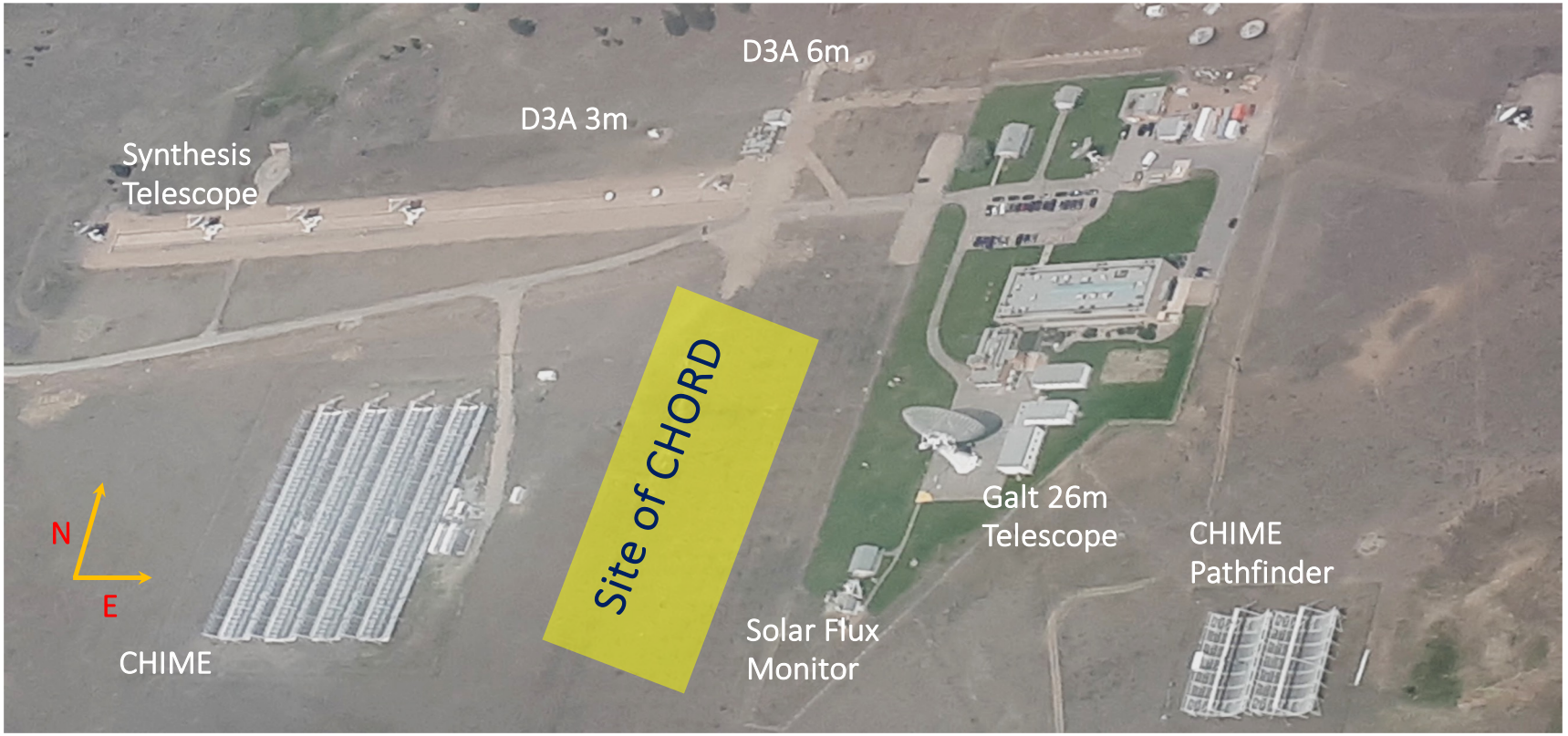
Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU

Ministero dell'Università e della Ricerca

Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

INAF
ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

Dominion Radio Astrophysical Observatory



Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU

Ministero dell'Università e della Ricerca

Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

INAF
ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

A photoshop anticipation

© Tracy Zhuo @CITA

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

CHORD specs

N_{dish}	512	
Area	14,500 m^2	
T_{sys}	30 K + $T_{sky}(\nu)$	
Aperture Efficiency	50%	
SEFD	12 Jy + $SEFD_{sky}(\nu)$	
Transient Localization	< 50 milli-arcsec	
Bandpass	300 MHz	1500 MHz
PSF	17 arcmin	3.5 arcmin
Field of View	12 deg	2.5 deg
21 cm Redshift	3.7	0.0

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

CHORD Field of View & pointing

Drift scan

Azimuthal pointing: fixed to local meridian

Elevation pointing: manually adjusted between Dec $= 20^\circ - 80^\circ$

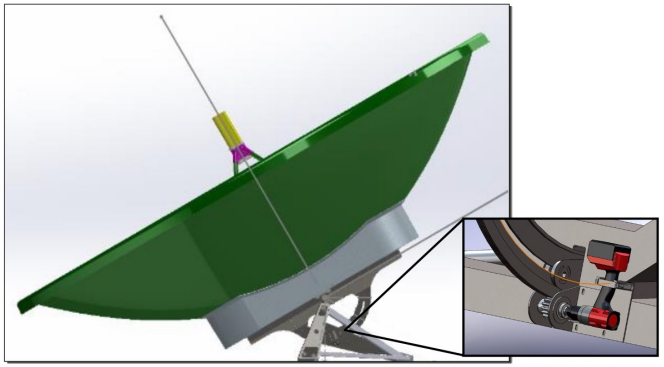
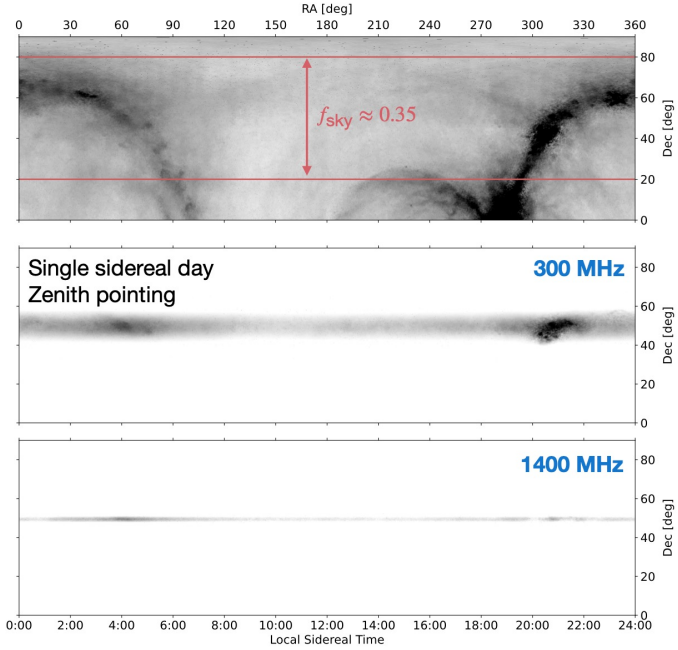
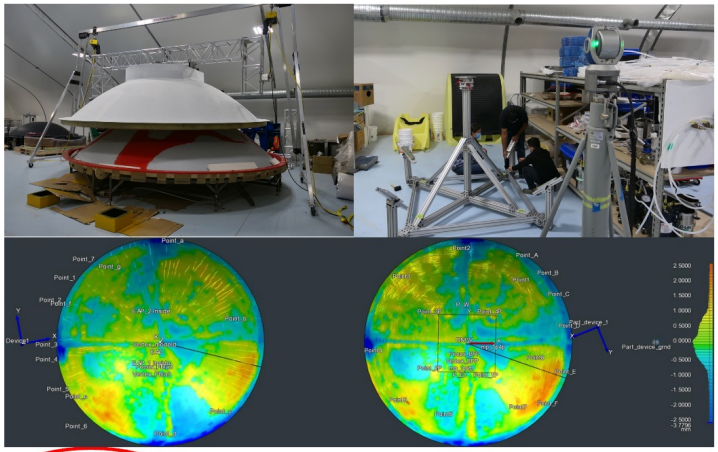


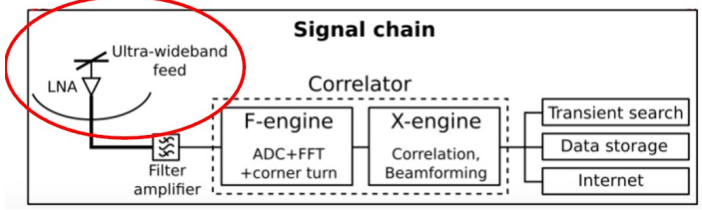
Image by Mohammad Islam (DRAO)



Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

CHORD front-end





- High Precision
  - Sub-mm manufacturing and assembly tolerances
- Deep Dish Geometry (f/0.21)
  - Reduced spill and cross-talk
- Ultra-Wide Bandwidth
  - 300-1500 MHz
- Low Noise
  - Tsys ~ 30K

National Research Council NRC·CNRC Canada

UNIVERSITY OF TORONTO

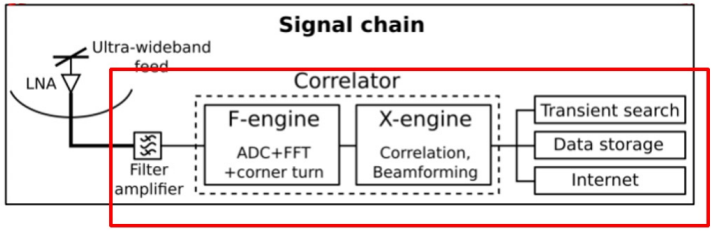
UNIVERSITY OF CALGARY

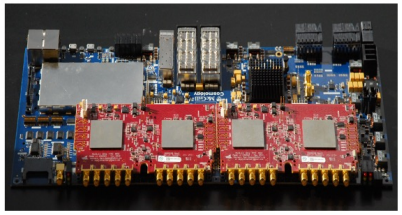
Images: Mohammad Islam (DRAO), Kit Gerodias (McGill)

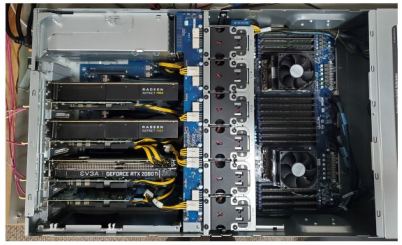
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

CHORD front-end

- Powerful
  - FX-engine architecture featuring an FPGA-based channelizer and a GPU-based correlator
- Flexible
  - Support for multiple digital backends, including visibilites, FRB search, and pulsar search and timing

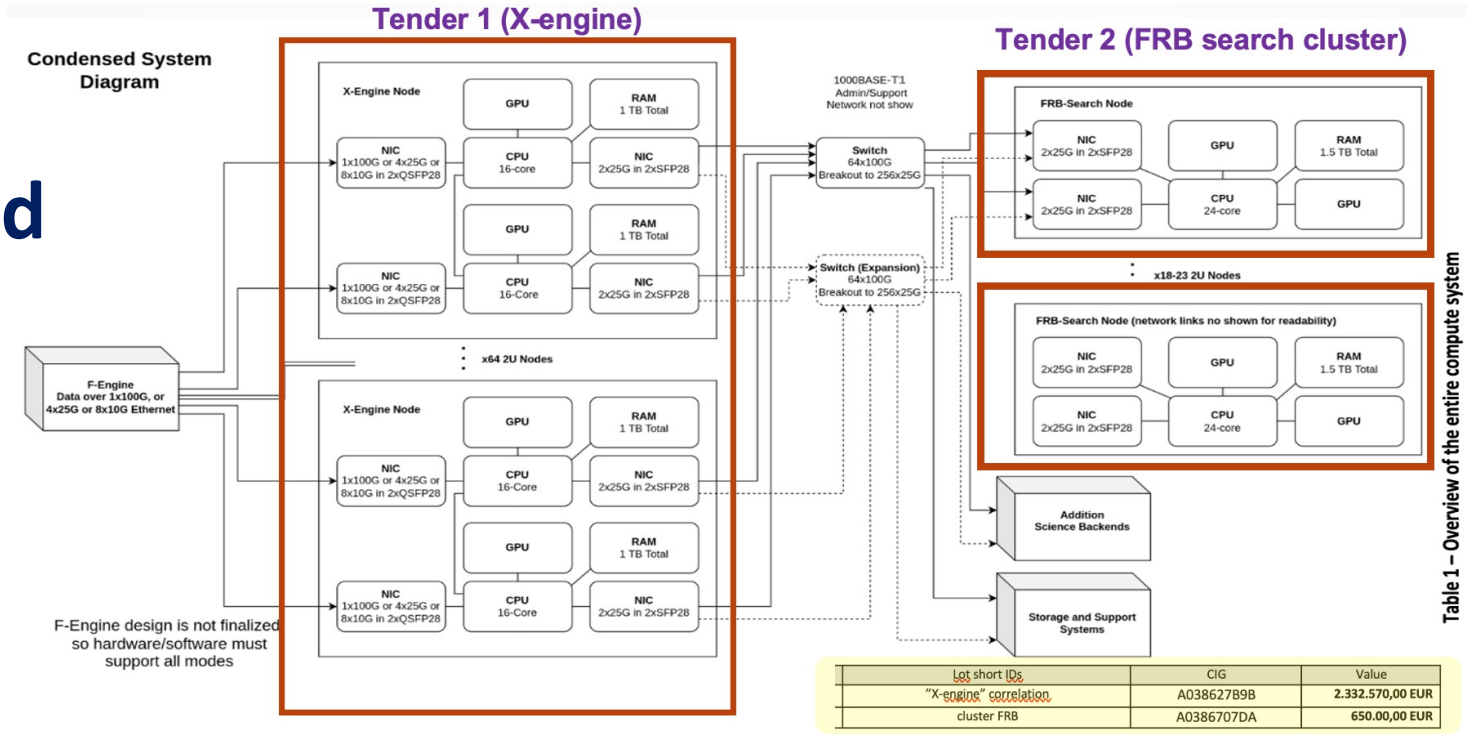






Images: Bandura+ 2016, Andre Renard (Toronto)

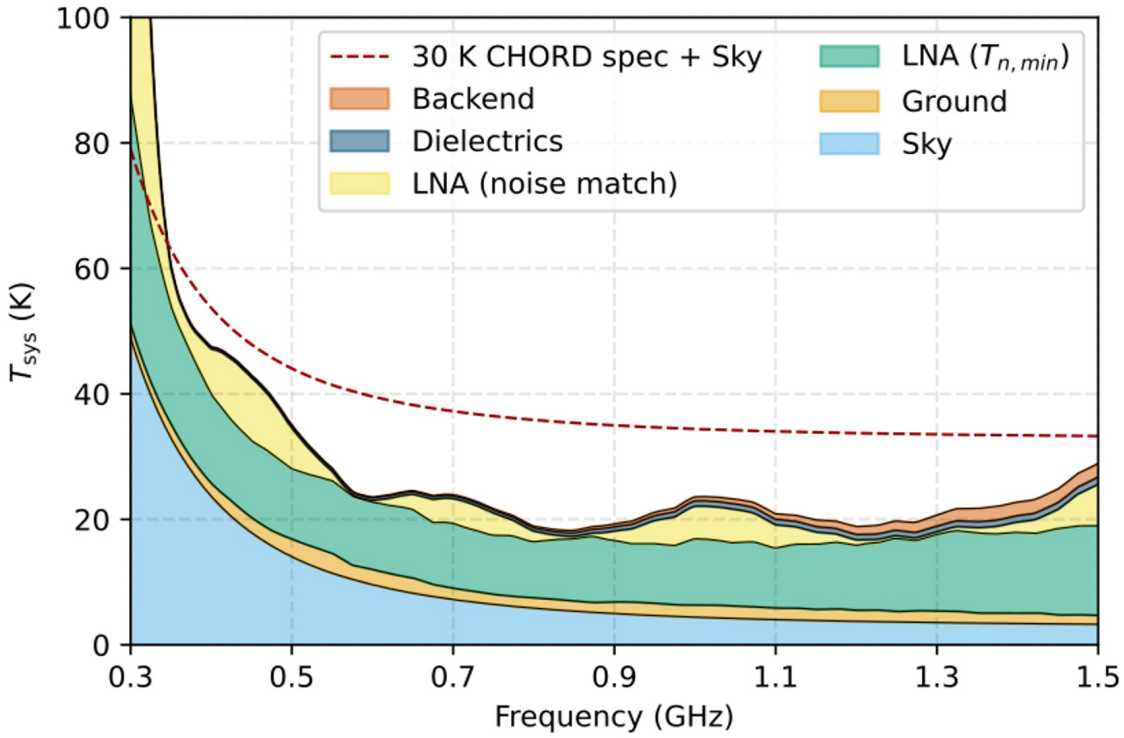
CHORD back-end



Lot short IDs	CIG	Value
"X-engine" correlation	A038627B9B	2.332.570,00 EUR
cluster FRB	A0386707DA	650.00,00 EUR

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

CHORD bandpass



MacKay+ 2022

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

	CHORD	CHIME	GBT (PF1)
T_{Sys}	30 K	55 K	35 K
BW	300–1500 MHz	400–800 MHz	290–920 MHz
A_{Eff}	8,680 m^2	4,300 m^2	7,850 m^2
Ω (@600 MHz)	48 deg^2	195 deg^2	0.1 deg^2
Figure Of Merit	10	1.0	0.007

Figure Of Merit $\propto$ BW x Ω x $(A_{Eff} / T_{Sys})^2$

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

Localization capabilities

64-dish outrigger arrays located at Hat Creek Observatory and Green Bank Observatory

>1000 km baselines provide ~10 mas localization

Continuously buffer ~100 sec of baseband data, with triggered or scheduled writes to disk

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

Status of the project: dish construction

@ Dallas Wulf

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

Status of the project: dish construction

Kit Gerodias (McGill)

@ Dallas Wulf

Status of the project: hardware

Expect to process 10 Gsps per GPU. Comparison of different FRB searches:

	N_{beam}	N_{freq}	t_{sample}	Data Rate
CHIME	1000	16,000	1 msec	16 Gsps
CHORD	5000	32,000	1 msec	160 Gsps
SKA-low	500	8000	0.8 msec	5 Gsps
SKA-mid	1500	4000	0.08 msec	75 Gsps

Table by Kendrick Smith

Features: frequency-dependent upchannelization, arbitrary formed beam locations, multiple sub-band searches, 100 sec baseband buffer, and early baseband triggers!

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

Status of the project: hardware

Cluster FRB & X-engine

Status of the project: software

Many activities running in parallel

INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

Inaf contributions:

Matteo Trudu → subband searches

Martin Topinka → RFI vs FRB discrimination

Matteo Cinus → software actions orchestration

Status of the project: science

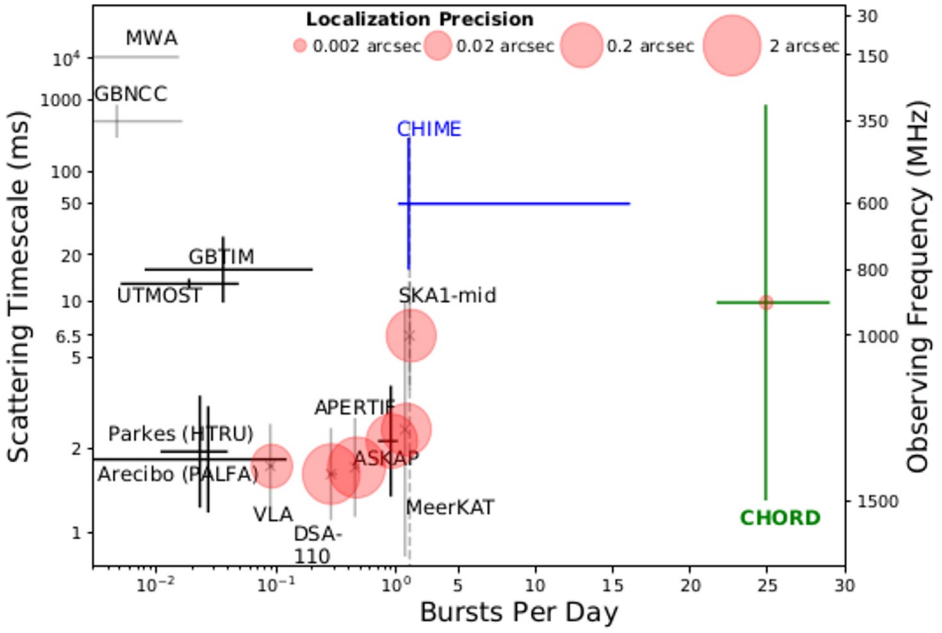
Science Working Groups have started or are in the verge of starting their activities:

- **FRB working group**
- **Pulsar working group**
- **Cosmology working group**
- **HI working group**
- **Cosmic magnetism working group**

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

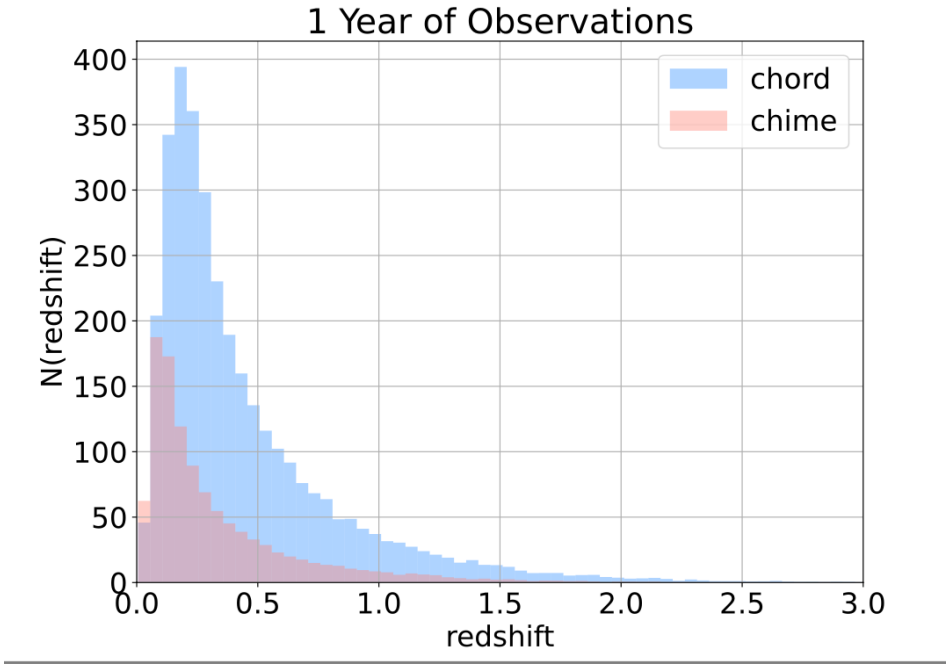
Impact on Fast Radio Bursts searches

Forecasted to detect 10+ FRBs per day with VLBI localizations of host galaxy and environment



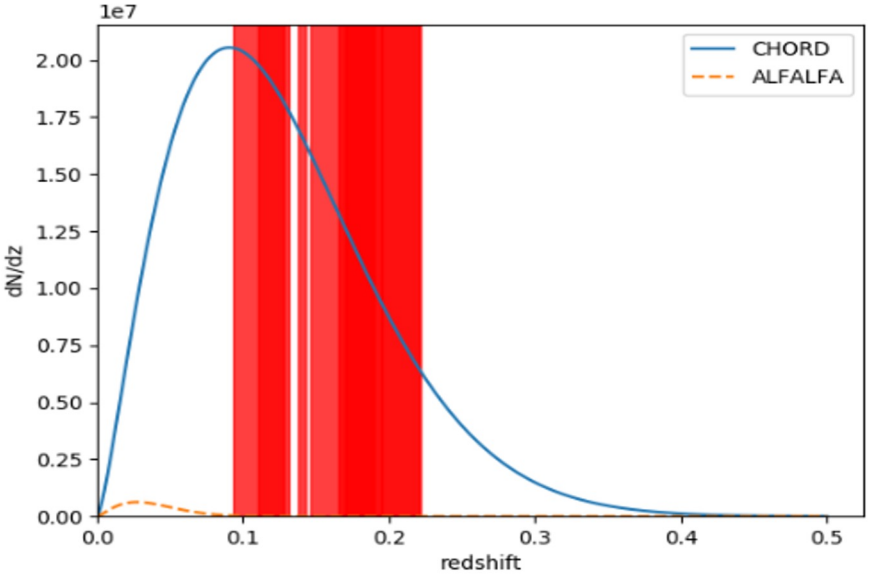
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

Impact on high-z Fast Radio Bursts



Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

Impact on 21 cm line science: Galaxy search



At low redshift, CHORD will be able to detect individual galaxies @ 21cm

Aims to detect ~10^6 galaxies (100x improvement over ALFALFA)

May access frequencies inaccessible to large single dish due to GPS satellites

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

Impact on 21 cm line science: HI power spectrum at various z

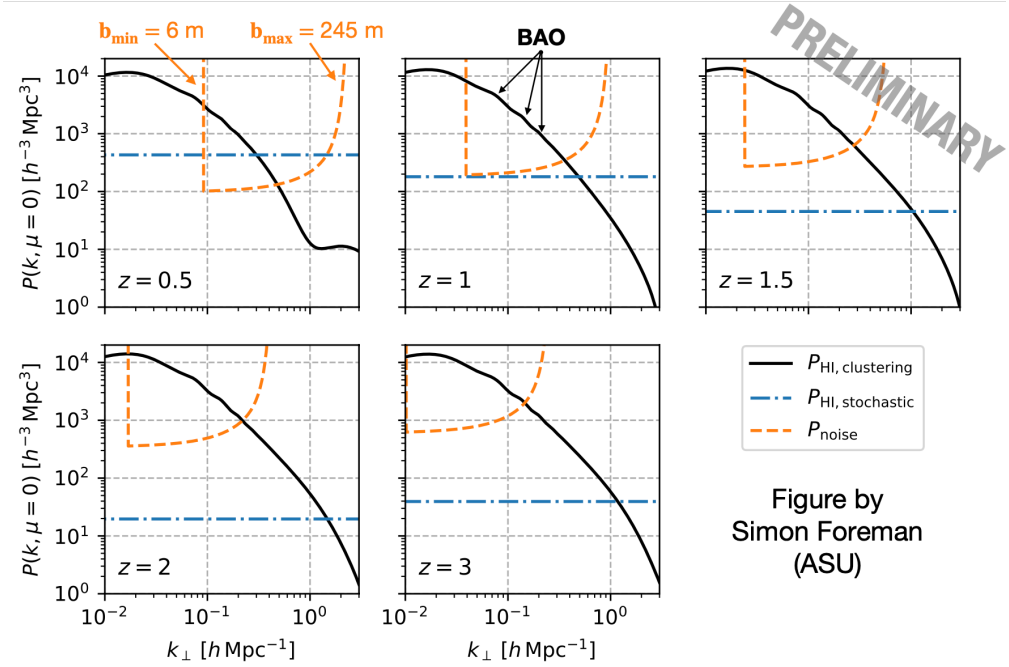


Figure by Simon Foreman (ASU)

Predicted thermal noise power spectrum (orange) compared to HI power spectrum (**black**)

CHORD will carry out a **5 year survey** to measure the HI power spectrum between **0 < z < 3.7**

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

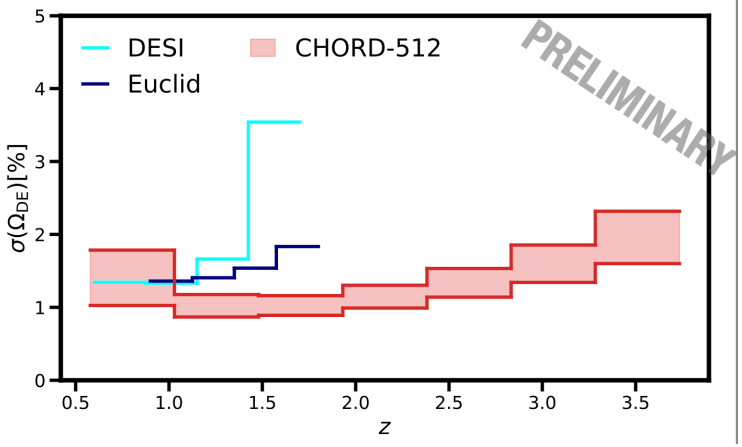
Impact on Cosmology

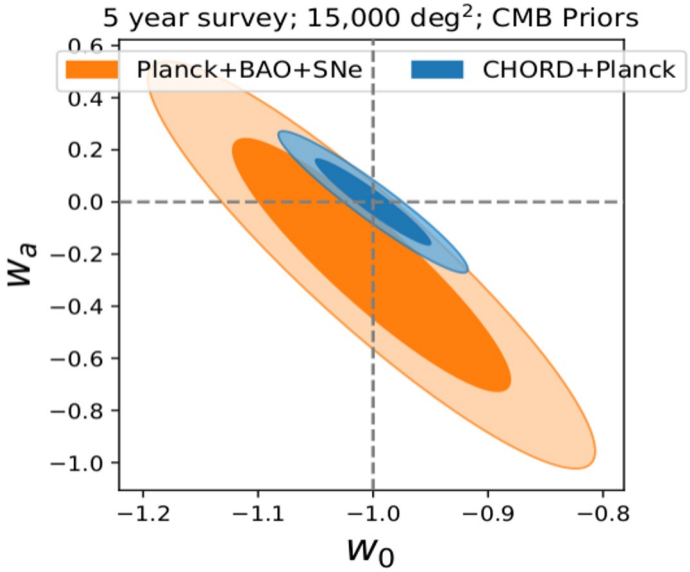
Access to redshift range z=0-3.7 where Dark Energy turns on

Predicted to provide the tightest constraints to date on the Dark Energy EoS

Overlapping sky coverage and complementary systematics when compared to galaxy surveys such as DESI

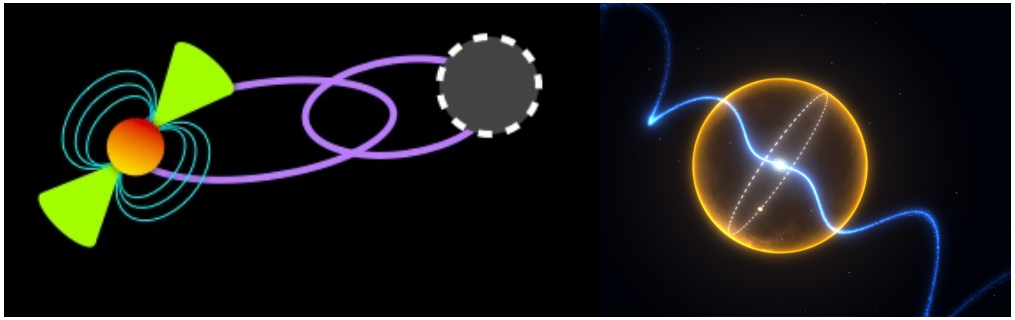
Figure by Arnab Chakraborty (McGill)





Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

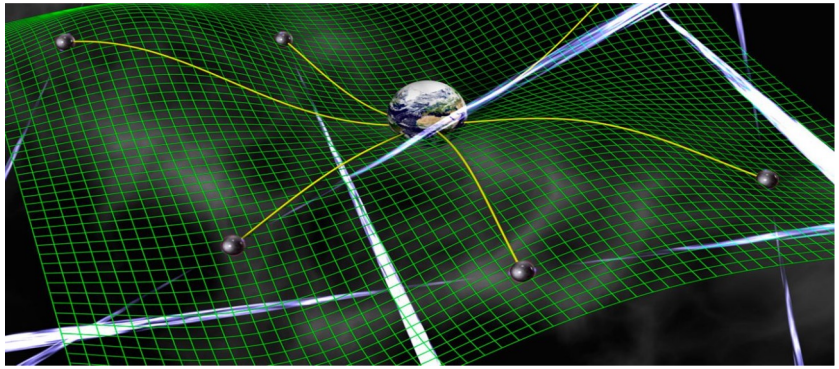
Impact on Pulsars search & timing



Predicted the discovery of hundreds of Galactic pulsars, among which new and exotic systems

A GBT-sensitive telescope with many more beams, daily cadence of observation and $\gtrsim$10 min integration time

Precision timing of known and newly discovered pulsars will aid in detecting the gravity waves from SMBH mergers



©Dave Champion (MPIfR)

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

Impact on Galactic and Cosmic Magnetism

- CHORD's ultra-wide bandwidth will make it a powerful tool for detecting Faraday rotation
- Time-variable polarization of AGN can provide insight into accretion and jet physics
- Improved spatial resolution for mapping the magneto-ionic environment of the ISM and CGM via Faraday tomography

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

CHORD Timeline

Jan 2020: CHORD proposed to the Canada Foundation for Innovation (CFI)

Mid 2021: CHORD fully funded by CFI with matching contributions from provincial partners

Late 2021: First end-to-end prototype dishes constructed at DRAO

Late 2022: Break ground on dish production facility

Beginning 2023: INAF joins the project

2024 late: Begin construction of the dishes

2026 early: Complete construction of the core array of 64 dishes

2027 mid: Complete construction of the full array of 512 dishes

2028 mid: Complete construction of the outtriggers

2028-2033: CHORD dedicated science observing period