

Particle Physics con CMB-S4



European Strategy for Particle Physics @ INFN-FE
Martina Gerbino, 6 Nov 2024

Perché?

Finestra unica sulla fisica fondamentale

Come si forma la materia “ordinaria”?

Esistono particelle ancora sconosciute?
Come si sono formati i semi dell'Universo attuale?
Esistono le onde gravitazionali primordiali?
Cosa possiamo dire della natura quantistica della gravità?

Che cos'è l'energia oscura?

Einstein aveva ragione sulla gravità?

Che cos'è la materia oscura?

Universo “neonato”

Universo oggi

14 miliardi di anni

soglia di energia di LHC

secondi: 10^{-32}

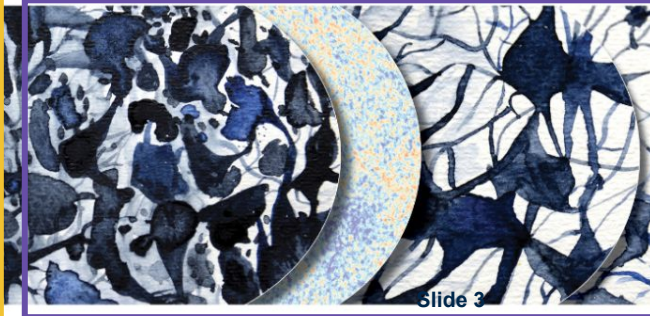
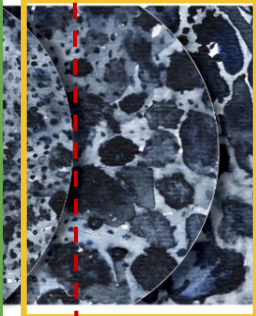
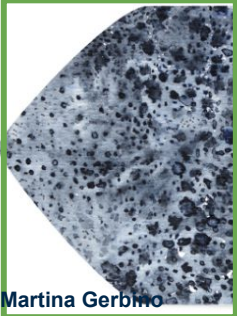
secondi: 1

secondi: 100

anni: 380000

anni: 500 milioni

anni: miliardi



Science Goals che determinano il Design di CMB-S4

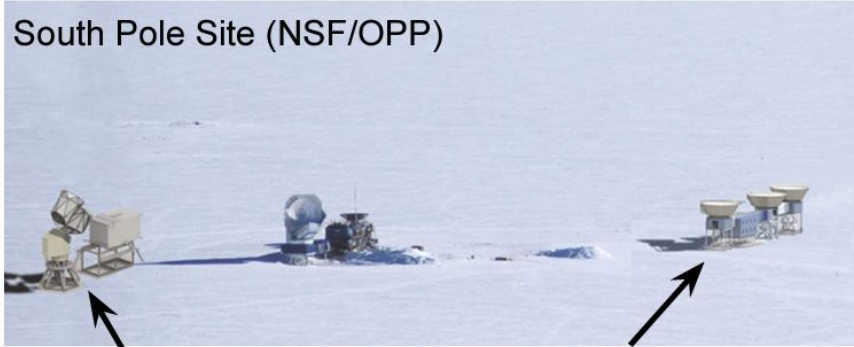
- Goal 1: Test models of inflation by measuring or putting upper limits on r , the ratio of tensor fluctuations to scalar fluctuations. -> Fisica dell'Universo primordiale
- Goal 2: Determine the role of light relic particles in fundamental physics, and in the structure and evolution of the Universe. -> Fisica delle interazioni fondamentali
- Goal 3: Measure the emergence of galaxy clusters as we know them today. -> Dark matter, dark energy, test di GR a grande scala
- Goal 4: Explore the millimeter-wave transient sky. -> Astrofisica Multimessenger

CMB-S4 è considerato a tutti gli effetti
un esperimento di fisica particellare e fondamentale
cfr H. Murayama@CERN (chair di P5)

Cosa/come?

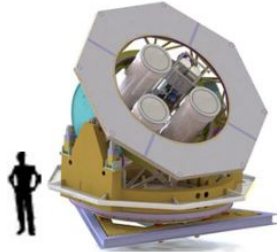
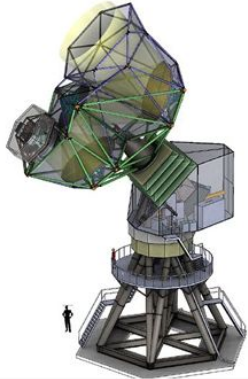
Preliminary Baseline Design

South Pole Site (NSF/OPP)

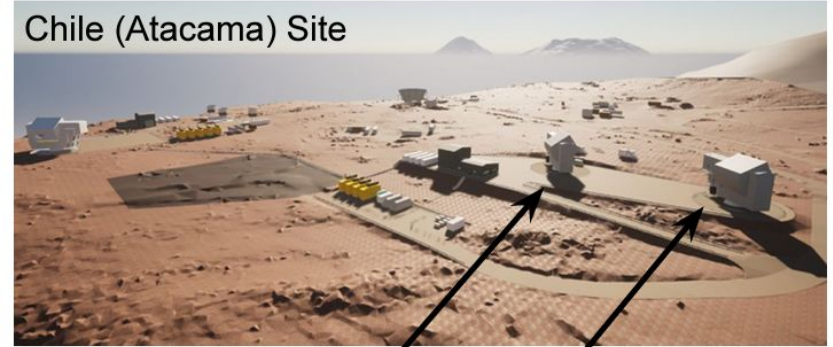


1 Large Aperture (5 m) Telescope

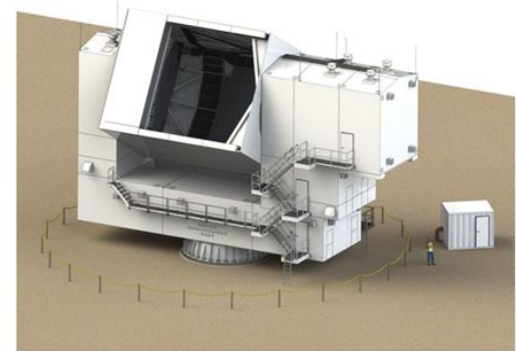
3 Small Aperture Telescopes (9 0.5-m aperture optics tubes)



Chile (Atacama) Site



2 Large Aperture (6 m) Telescopes



Primordial Gravitational Waves and Inflation

Inflationary B-modes are a Big Deal!

- A key test of inflation and our origins.

$$\text{time} = 10^{-36} \left(\frac{r}{0.01} \right)^{-\frac{1}{2}} \text{ seconds}$$

- A relic from 10^{36} times earlier than the light elements created at $t = 1$ second.

$$\text{energy} = 10^{16} \left(\frac{r}{0.01} \right)^{\frac{1}{4}} \text{ GeV}$$

- Probing physics at the scale of superstring theory, a trillion times beyond the reach of the LHC.
- Insights into quantum gravity.

From 2014 P5 Report:

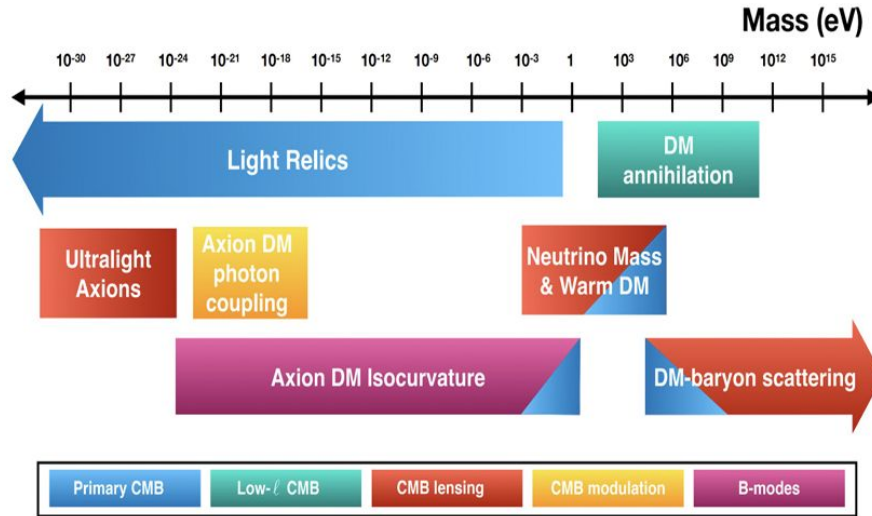
“(CMB) experiments now have the capability to access the ultra-high energy physics of inflation and important neutrino properties. These measurements are of central significance to particle physics.”

From 2020 A&A Decadal Survey:

“One of the most exciting opportunities in the coming decade is that CMB measurements may reveal remnant gravitational waves from this early epoch.”

Light Thermal Relics and the Dark Universe

CMB Insights Into The Dark Universe Across The Mass Spectrum



CMB-S4 will probe **dark sector physics** across an enormous range in mass

CMB-S4 will **detect all light relics that decoupled after the start of the QCD transition (from Quark Soup to Matter-as-we-know-it), providing orders of magnitude improvement on the freeze-out temperature of any thermal relic.**

Additional light particles that appear in extensions to the standard model will be constrained by CMB-S4, e.g., sterile neutrinos, axions, dark radiation, gravitinos, etc.

CMB-S4 will provide many constraints of cosmology and particle physics over a enormous range of mass scales.

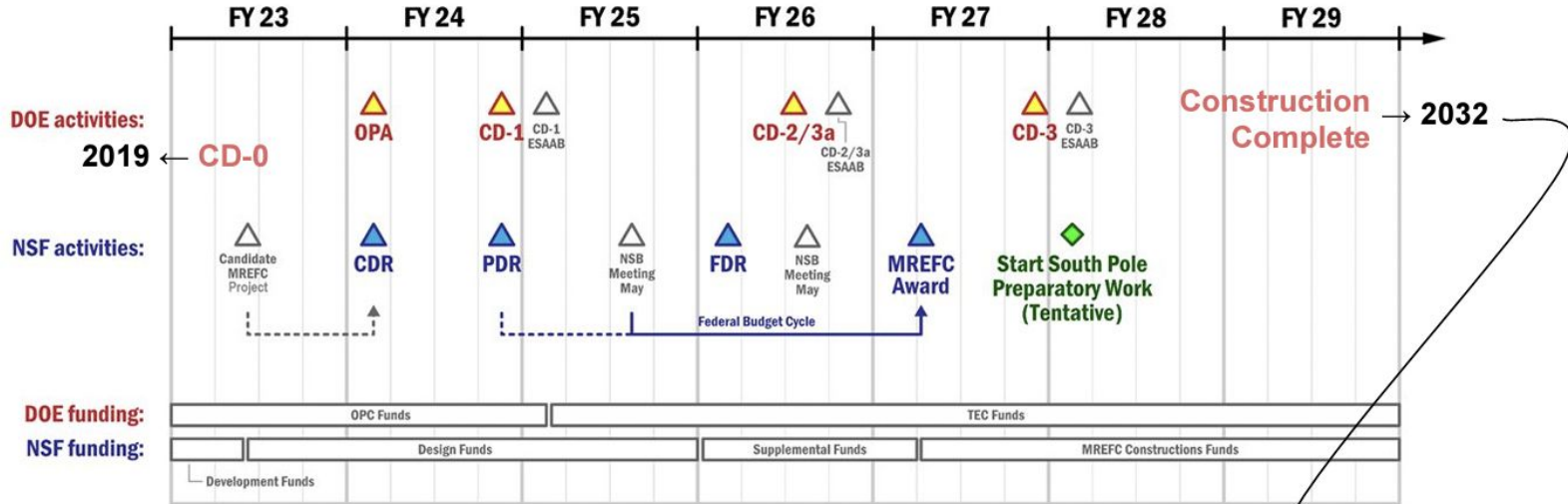
Scala temporale

CMB-S4: flagship experiment degli anni 2030+

Dal P5-2024 report emerge una fortissima raccomandazione per CMB-S4:

- These projects have the potential to transcend and transform our current paradigms. They inspire collaboration and international cooperation in advancing the frontiers of human knowledge. Plan and start the following major initiatives in order of priority from highest to lowest:
 - CMB-S4, which looks back at the earliest moments of the universe to probe physics at the highest energy scales. It is critical to install telescopes at and observe from both the South Pole and Chile sites to achieve the science goals (section 4.2).
 - DUNE-Phase2
 - Off-shore Higgs factory
 - Gen3-dark matter direct detection
 - IceCube-Gen2
- Anche in caso di less favourable budget, CMB-S4 raccomandato come prima priorità senza descoping, a differenza delle altre priorità
- CMB e CMB-S4 sono anche citati nella APPEC roadmap (first time!)

CMB-S4 Project Timeline



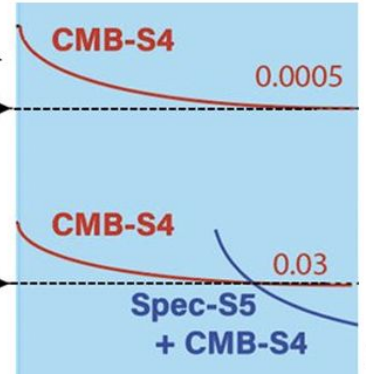
- Forecast 7-9 years observing time to reach inflation goal with CMB-S4 alone. Could be shortened by ~1.5 years by combining with BICEP data.
- All other science goals are reached in 7 years.

Inflation

r
Discover or rule out the natural models of inflation

Light Relics

N_{eff}
Discover or rule out new light relics during and after the QCD phase transition



Contesto internazionale

NSF ha deciso che *must prioritize the recapitalization of critical infrastructure at the South Pole so that the groundbreaking research it enables can continue to thrive* (Chris Smith, interim director di NSF Astronomical Sciences Division, 7 Maggio 2024)

Stop per base antartica di CMB-S4 (sito dedicato a osservazione di modi B)

Decisione politica, non legata alla scienza (anche IceCube coinvolto, ma non solo),
supporto dalle agenzie (DOE e NSF) pieno,
agenzie e Project attualmente in dialogo con DOD per possibili soluzioni
(cfr. talk di Murayama [P5 chair] a Kavli-IPMU)
più diverse attività di lobbying

Situazione fluida e in rapida evoluzione, possibili maggiori opportunità per partner internazionali

Interessi nazionali e locali

CMB-S4 e comunità italiana

L'Italia è da sempre un leading player in CMB theory, analysis e instrumentation

Ruoli chiave a livello istituzionale e come comunità partecipante a missioni da pallone e dallo spazio -> continuità con LiteBIRD!

Ruoli chiave nella scienza e nel management a livello individuale in esperimenti da terra

-> opportuno capitalizzare tramite un supporto strutturato!

See e.g., CMB-S4/INFN MoU; LiteBIRD/CMB-S4 synergy WP in LiteBIRD INFN project

Il futuro è promettente: comunità giovane e dinamica, formata e supportata da membri senior e che gode di pieno riconoscimento da grandi collaborazioni

Enormi opportunità anche per membri provenienti da altre comunità

CMB-S4 e INFN (inclusa INFN-FE)

MoU di alto livello siglato da INFN e CMB-S4 project lo scorso anno, in vista di impegni più formali.

Alcune persone INFN (dipendenti e associate, anche a FE) già coinvolte individualmente, anche a livello di governance, in attesa di supporto istituzionale.

Ulteriori contributi anche da persone provenienti da altre comunità scientifiche sono benvenuti: scienza solida, progetto sostenuto da principali funding agencies, apertura alla comunità internazionale. Ottimo investimento soprattutto per early career!

Data management e analisi

Elettronica e readout

Detector e piani focali

Criogenia