



INAF

ISTITUTO NAZIONALE
DI ASTROFISICA

PROGRESS

Programma INAF per l'Astronomia Gamma da terra

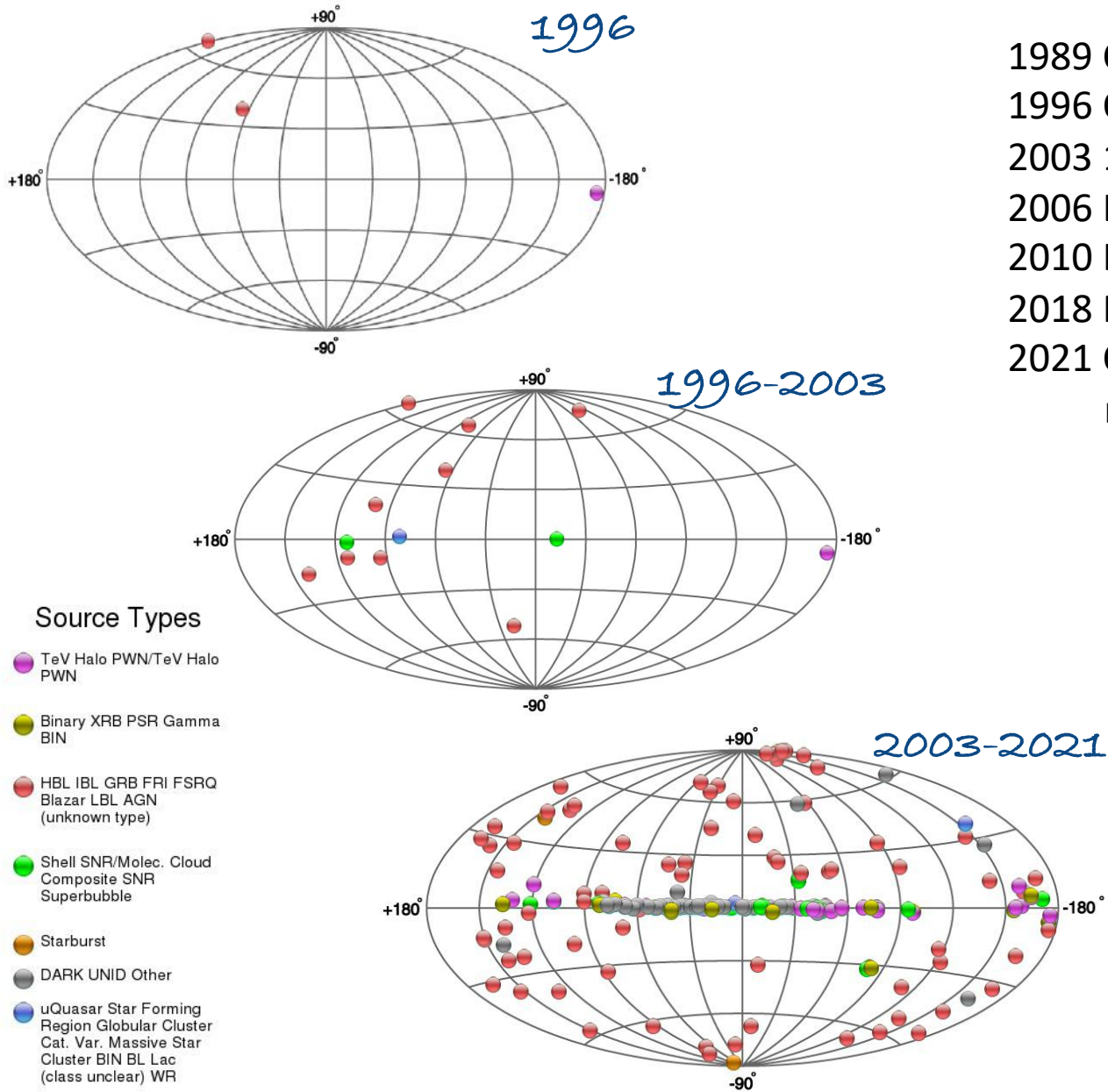
L. A. Antonelli

*a nome della comunità INAF per l'Astronomia
Gamma da terra*

Programma PROGRESS: outline

- INAF e l'astronomia gamma da terra: da MAGIC a CTA
- Organizzazione del Programma PROGRESS
- I numeri del Programma PROGRESS
- INAF e l'astronomia gamma da terra: la scienza
- INAF e l'astronomia gamma da terra: le tecnologie
- INAF e l'astronomia gamma da terra: i progetti
- La Roadmap di PROGRESS
- Risultati e prospettive
- Criticità

INAF e l'astronomia gamma da terra



- 1989 Crab Nebula: prima osservazione di una sorgente al TeV
- 1996 Osservate al TeV MKN 421 e MKN 501
- 2003 12 sorgenti gamma osservate
- 2006 INAF entra in MAGIC e CTA
- 2010 HESS team riceve il Premio Rossi
- 2018 Prima osservazione di una sorgente gamma con ASTRI.
- 2021 Oltre 250 nuove sorgenti gamma osservate, scoperte nuove classi di sorgenti.



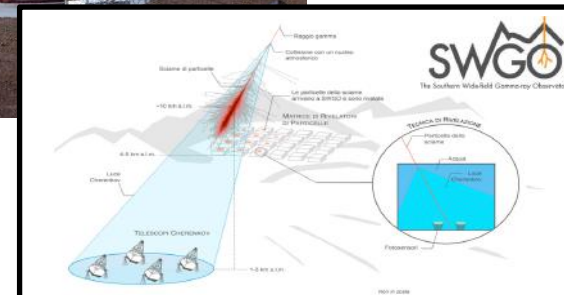


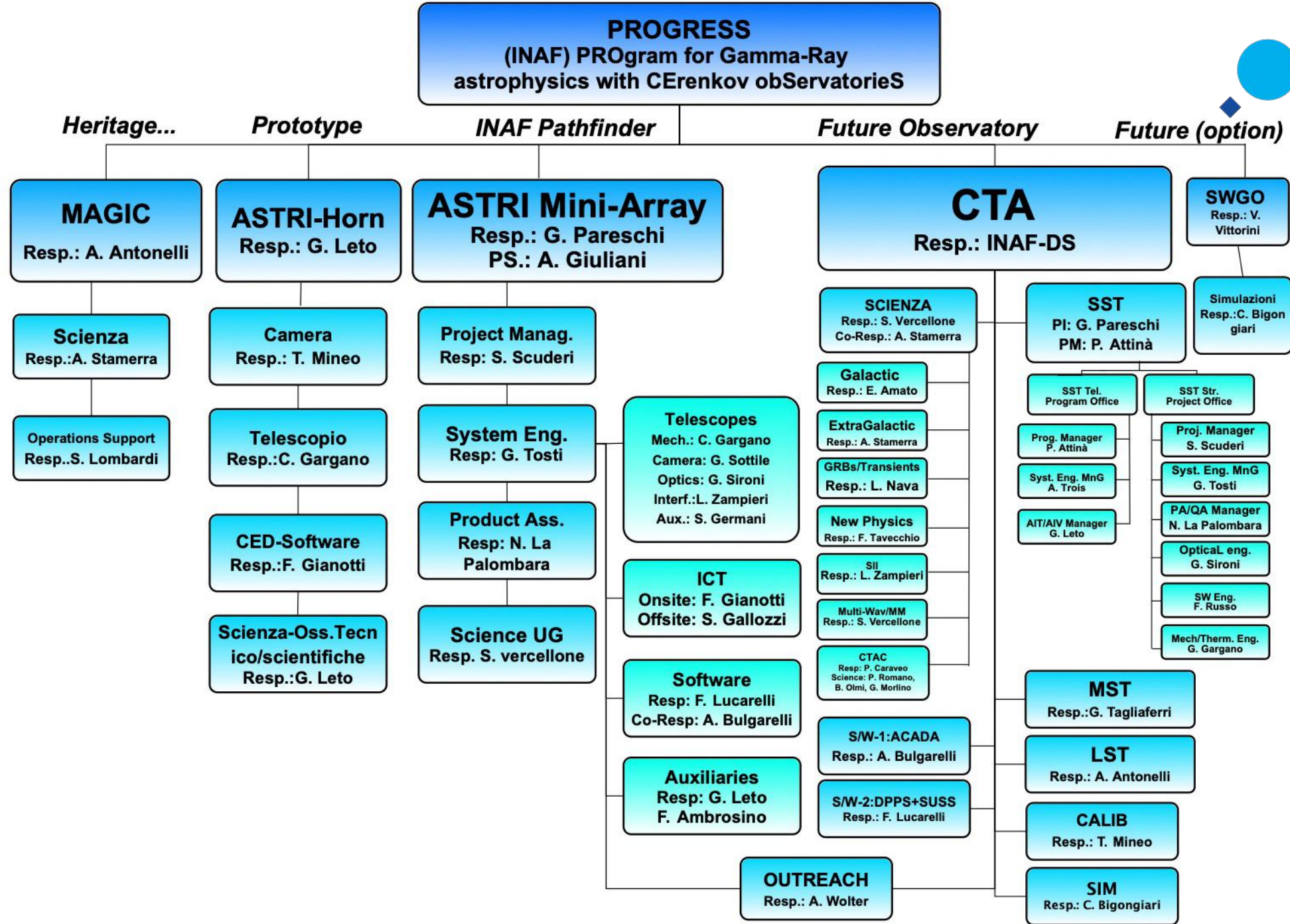
2010 -



2025 -

**The (far)
Future...**



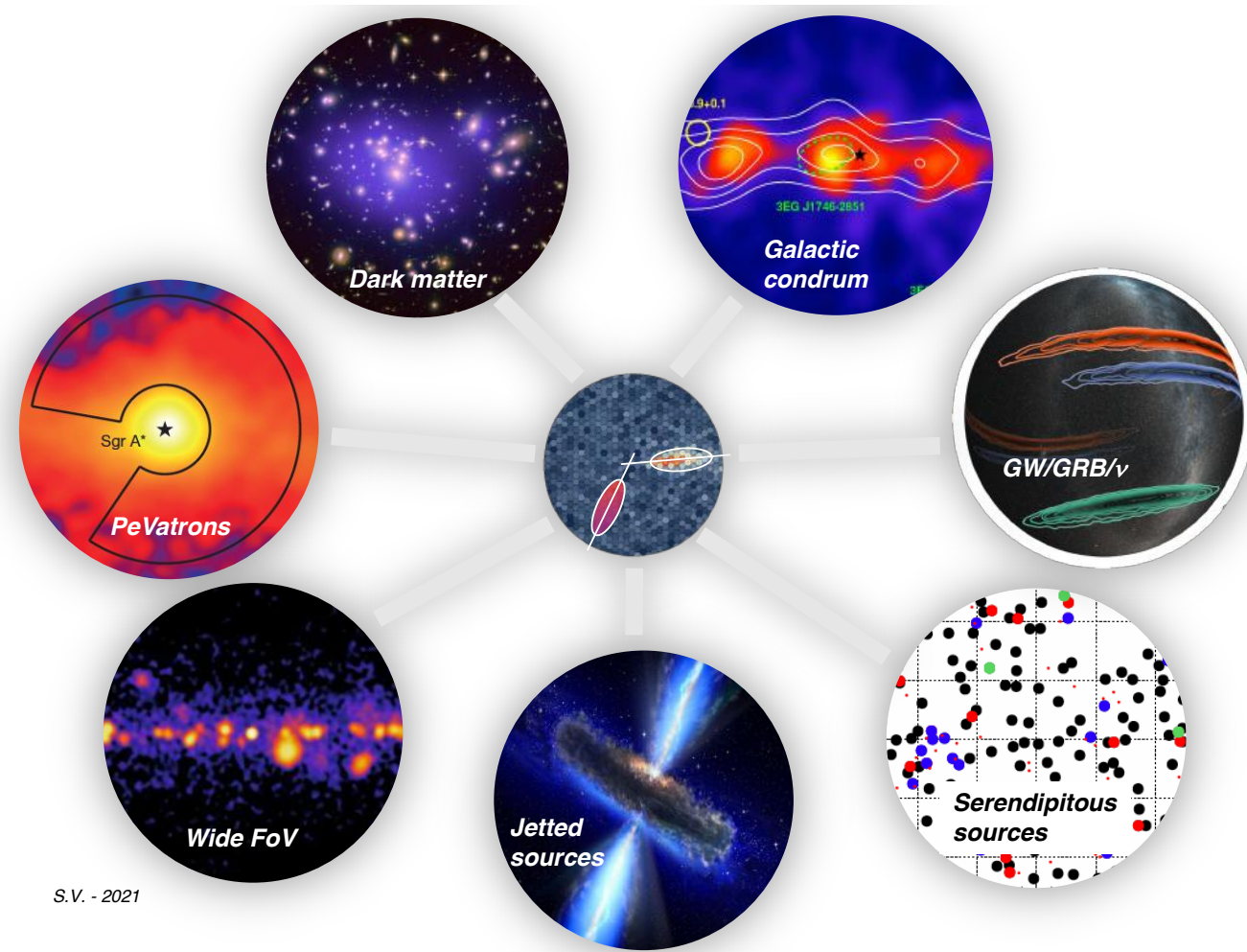


I numeri del Programma PROGRESS

- **FTE coinvolti (triennio 2021-2023):** 179 (+ 56 a FTE 0) (dall'inizio del programma (2005) oltre 300 tra ricercatori, tecnologi, tecnici, contrattisti)
- **Strutture INAF coinvolte:** 14
- **Infrastrutture coinvolte:** MAGIC, ASTRI-Horn, ASTRI-MA, CTA, SWGO
- **Fondi ricevuti:** ~ 20 M€ (2005-2021) ~50 M€ (Cost-at-Completion per CTA)
- **Pubblicazioni e brevetti:** >250 pubblicazioni; 2 brevetti
- **Schede collegate:** Progress-I: ASTRI/CTA Data Center (CAMAS); Progress-II: Stellar Interferometry; Progress-III: RPC/SWGO.
- **Schede connesse a Progress:** WEBT; Rubin-LSST; PMBr; BlaRub; MUTE SORCERER; SSDC; GRAPHJC; CRACHEN; AGILE; Athena; Swift; Theseus.

INAF e l'astronomia gamma da terra: la scienza

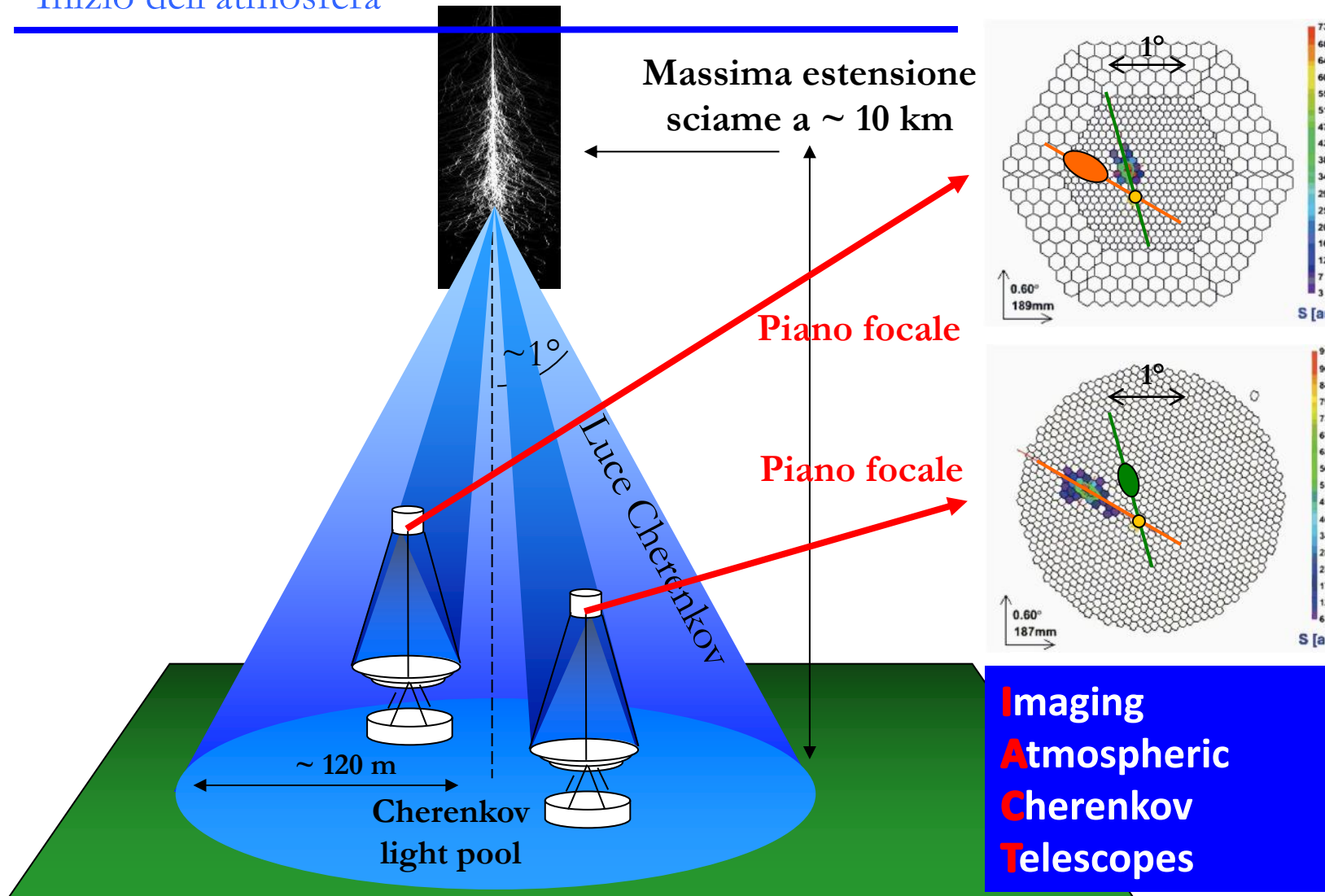
- studio degli **ambienti astrofisici estremi** dove si producono i raggi gamma più energetici: stelle di neutroni, getti relativistici, zone di accrescimento intorno ai buchi neri, esplosioni e venti stellari galattici.
- studio degli **oggetti astrofisici** che ospitano questi ambienti, quali **AGN, SNR, Pulsar**, e quindi eventi transienti quali **GRB, FRB, tidal disruption**.
- Identificare le sorgenti responsabili dell'**accelerazione delle particelle di alta energia**, come i raggi cosmici, **fino ai PeV**.
- Evidenziare il ruolo delle particelle energetiche nella formazione stellare, delle strutture cosmiche e della loro evoluzione.
- Rispondere a domande di **fisica fondamentale**, quali la natura della **materia oscura** o l'esistenza di **effetti di gravità quantistica**, attraverso l'osservazione dei loro effetti sull'emissione gamma.
- Correlare l'emissione gamma alle **osservazioni multi-messaggero**, in particolare di **neutrini** di altissima energia ($> \text{TeV}$) e di **onde gravitazionali**.
- Studiare l'**Extragalactic Background Light** (EBL) sfruttando l'effetto dell'assorbimento dei raggi gamma ad $E > 100 \text{ GeV}$ con i fotoni di basse energie dell'EBL.



S.V. - 2021

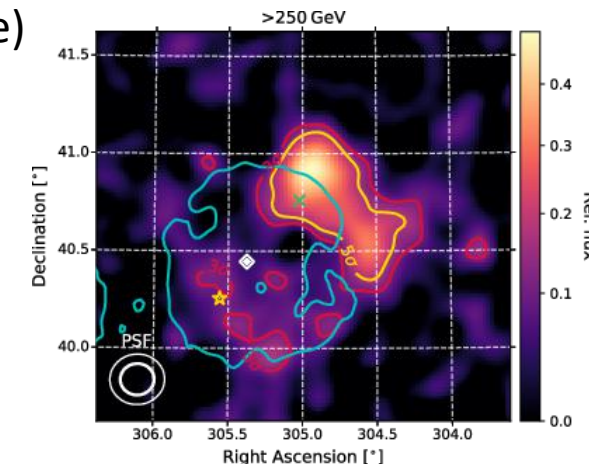
INAF e l'astronomia gamma da terra: la tecnica IACT

Inizio dell'atmosfera



I componenti di un telescopio Cherenkov

- L'atmosfera come calorimetro
- Grande ottica per massimizzare la raccolta della luce ($\varnothing$ 4 - 24 m)
- meccaniche leggere e veloci
- Sensori molto sensibili
- elettronica estremamente veloce (~ 2 -3 ns)
- Calcolo per trasformare le immagini degli sciame in eventi gamma (simulazioni e tecnologie avanzate software)



INAF e l'astronomia gamma da terra: le tecnologie

- **L'Atmosfera:**

- Le simulazioni Montecarlo
- le tecnologie software per la ricostruzione degli eventi gamma
- Il calcolo distribuito
- Gli strumenti per la calibrazione

- **Le ottiche e la meccanica:**

- La realizzazione di ottiche in vetro con la tecnica sviluppata da INAF con MediaLario della replica a freddo e utilizzata su MAGIC, ASTRI e CTA.
- Il disegno ottico a doppia riflessione
- La meccanica dei telescopi SST-2M
- Il software di controllo e gestione

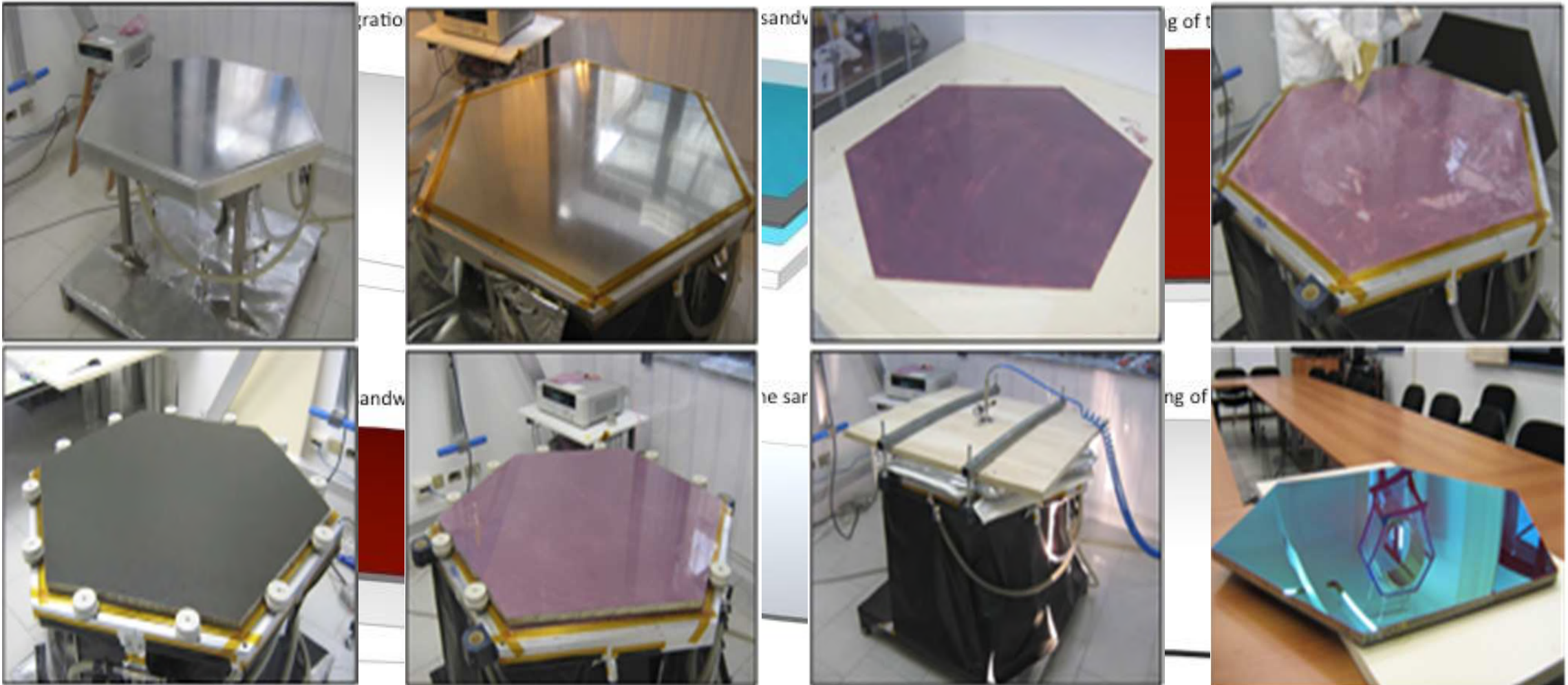
- **Detector ed elettronica:**

- I SiPM come tecnologia innovativa
- La camera di ASTRI



Tecnologia INAF per la produzione di specchi

Tecnologia INAF + MediaLario del Cold Slumping



INAF e l'astronomia gamma da terra, i progetti:

MAGIC

Esperimento Internazionale in operazione dal 2004 alle Isole Canarie. Dal 2009 operato con due telescopi. INAF è entrata in MAGIC nel 2006. Costi per INAF 70k€/anno.

CONTRIBUTO INAF

- Realizzazione degli specchi in vetro di MAGIC II e sostituzione specchi MAGIC I
- Contributo alle simulazioni e al software
- Partecipazione alle operazioni
- Software di allerta e puntamento rapido dei telescopi
- Partecipazione all'analisi dati e interpretazione scientifica
- Attività multifrequenza

La partecipazione INAF a MAGIC è stata di fondamentale importanza per acquisire know-how su tecnologie, tecniche osservative oltre alle competenze scientifiche che hanno portato in 15 anni i ricercatori INAF ad attestarsi in un ruolo leader in questa nuovissima branca dell'astronomia.

Prospettive: MAGIC proseguirà almeno fino a tutto il 2025, INAF contribuirà ad un'ulteriore rinnovamento degli specchi, alle operazioni e alla interpretazione scientifica dei dati.

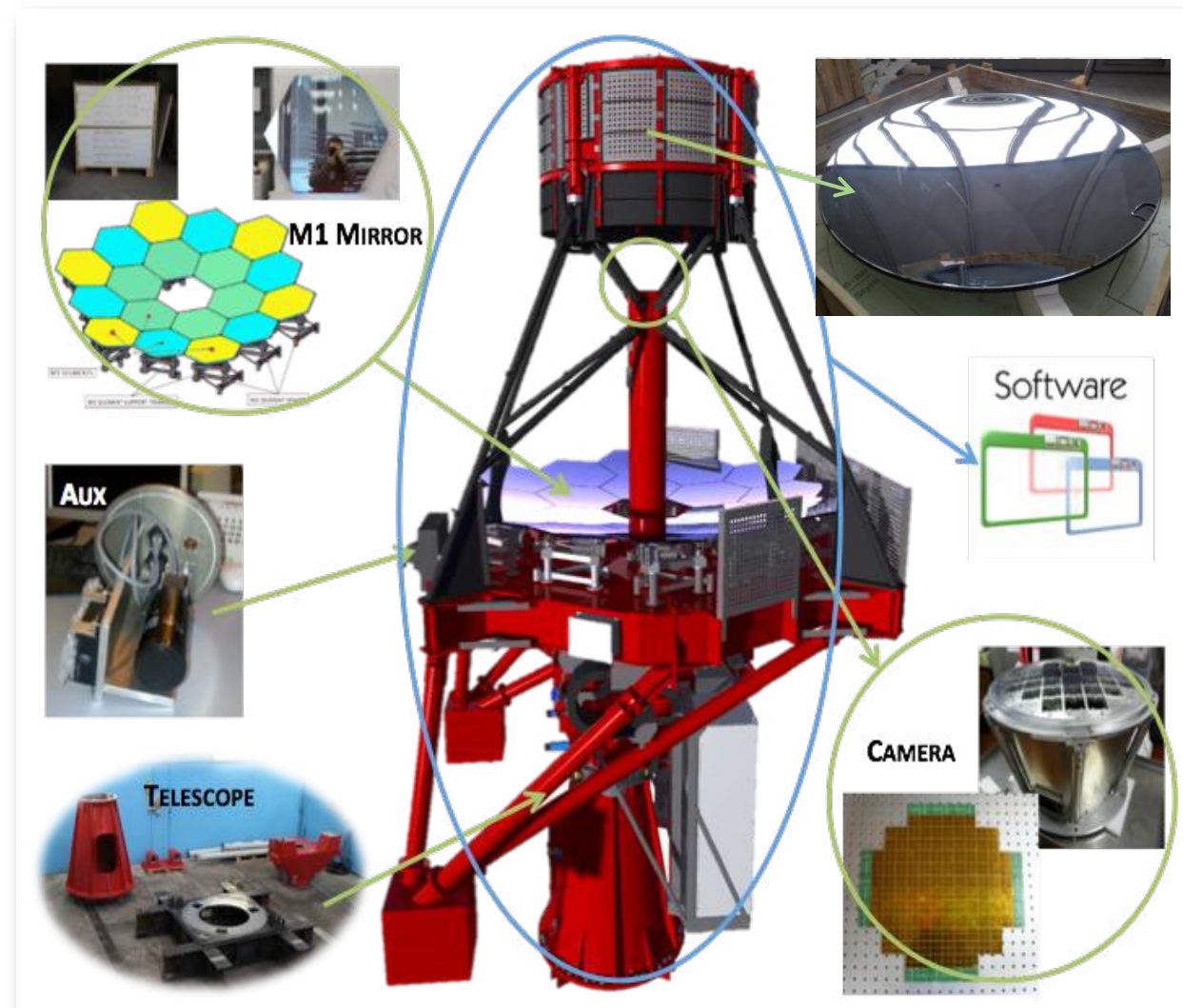


INAF e l'astronomia gamma da terra, i progetti:

ASTRI-Horn

- Progetto INAF
- Realizzazione end-to-end del primo telescopio Cherenkov a doppia riflessione Schwarzschild-Couder.
- Tutte le componenti sviluppate interamente in Italia dall'INAF.
- Installato a Serra La Nave (CT) dal 2014. Operato da OACT.

Prospettive: Utilizzato per R&D delle camere ASTRI e SST, test per software e strumenti, tomografia μ -onica del vulcano, outreach, comunicazioni spaziali

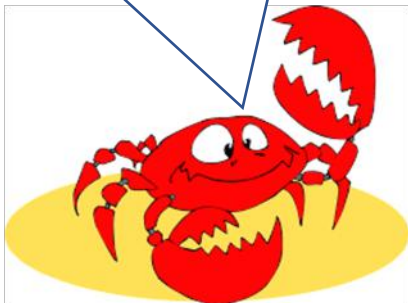


INAF e l'astronomia gamma da terra, i progetti:

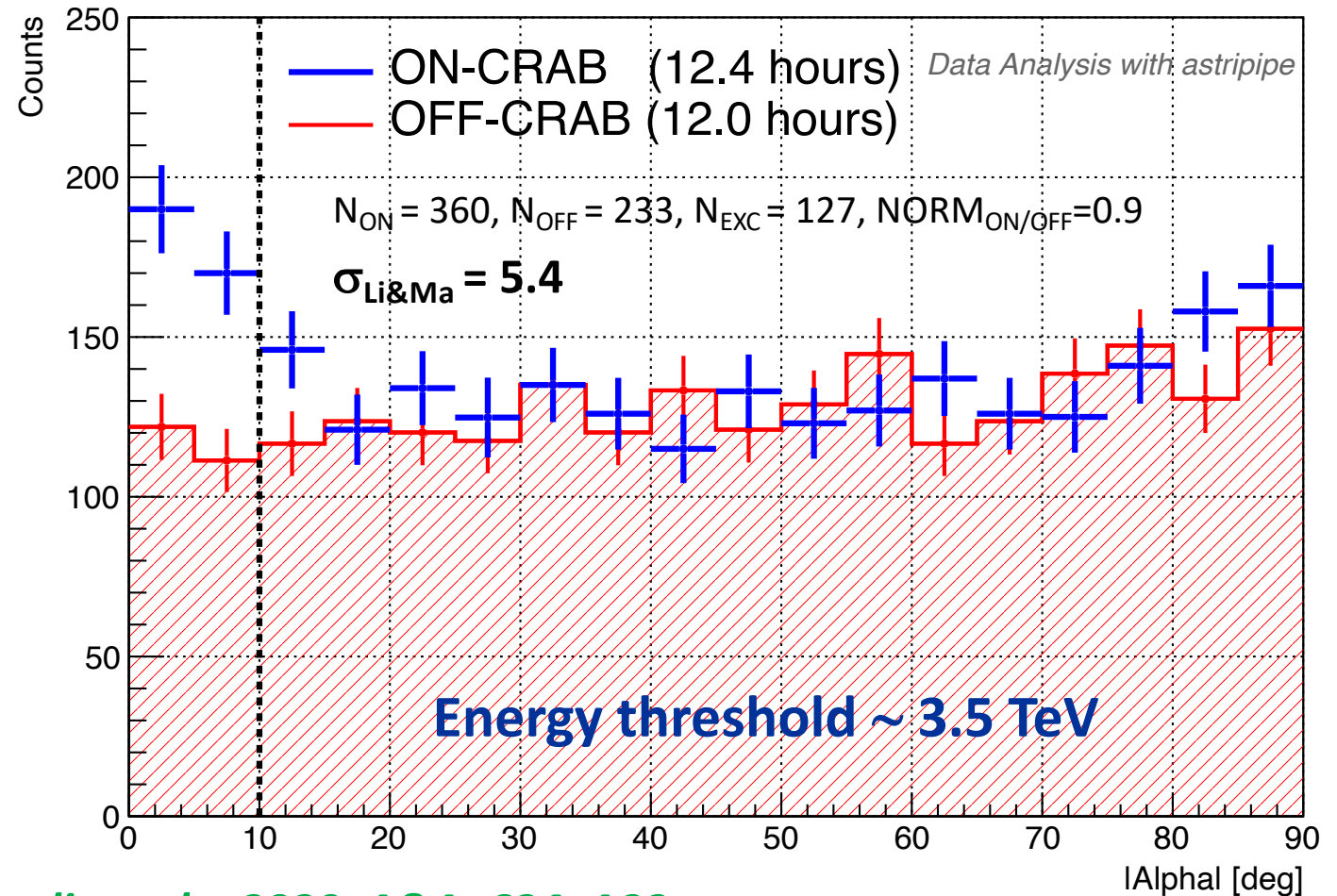
ASTRI-Horn



Prima osservazione di
una sorgente gamma con
un telescopio a doppia
riflessione!!!



ASTRI SST-2M prototype, December 2018

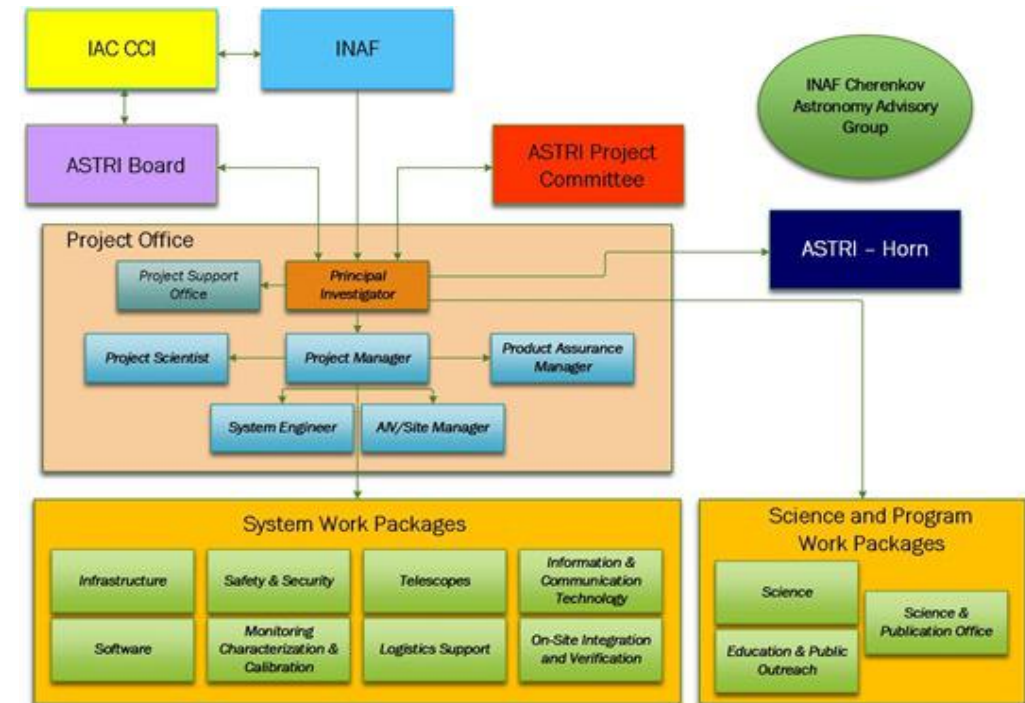


S. Lombardi, et al. , 2020, A&A, 634, A22

INAF e l'astronomia gamma da terra, i progetti:

ASTRI-MiniArray

- Progetto INAF + FGG + IAC + Universidade de São Paulo + North West University con la partecipazione di UCLA + INFN + UniPG + UniPD + ASI/SSDC.
- Realizzazione di un array di 9 telescopi ASTRI a Tenerife e del Data Center a Roma.
- Tutte le componenti sono realizzate in Italia sotto la responsabilità dei ricercatori e tecnologi INAF.
- Costo sostenuto da INAF per il progetto: 13M€ di cui 2.5 M€ da Univ. São Paulo e North West University.



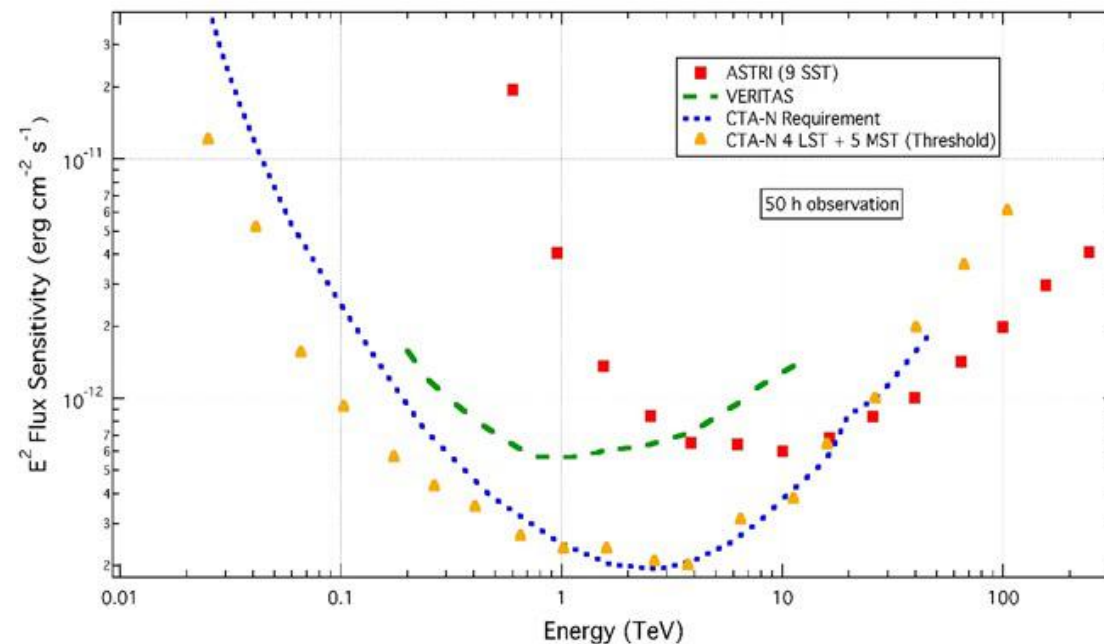
INAF e l'astronomia gamma da terra, i progetti: ASTRI-MiniArray

Prestazioni

- **Sensitivity: migliore dei telescopi IACT in servizio ($E > 10$ TeV):**
 - Estensione ad alte energie e/o misura dei cut-off degli spettri di sorgenti note
 - Caratterizzazione morfologia alle alte energie di sorgenti estese
- **Risoluzione Energetica/Angolare: $< \sim 10\%$ / $< \sim 0.1^\circ$ ($E > \sim 10$ TeV)**
- **Largo campo di vista ($\geq 10^\circ$), con accettazione fuori asse omogenea**
 - Ottimo per campi multi-target, surveys, e sorgenti estese
 - Grandi opportunità di scoperte “serendipity”

Obiettivi

- **Osservazioni stereoscopiche a largo campo nella banda di energia 1 – 300 TeV**
 - Numero ristretto di target/campi profondi (≥ 200 h)
 - Sorgenti galattiche : largo campo di vista $\rightarrow$ campi multi-target
 - Sorgenti extragalattiche: survey di poche sorgenti promettenti a energie ≥ 10 TeV
 - Fisica fondamentale: studi su LIV, EBL particelle Axion-like, ...
- **Interferometria d'Intensità Stellare alla Hambury-Brown nella banda visibile**
- **Misure dirette dei raggi cosmici**



INAF e l'astronomia gamma da terra, i progetti:

ASTRI-MiniArray

Site ready to host 1st telescope → Aug 2021

Infrastructure ready → Feb 2022

Title: ASTRI mini-array schedule
Date: Tue 12/01/21
Page 1 of 1



ASTRI Mini-Array Construction Project



D	Task Name	Start	Finish	Duration	Half 1, 2021	Half 2, 2021	Half 1, 2022	Half 2, 2022	Half 1, 2023	Half 2, 2023	Half 1, 2024
					J F M A M J	J A S O N D	J F M A M J	J A S O N D	J F M A M J	J A S O N D	J F M A M J
0	ASTRI Mini-Array	Wed 22/06/16	Tue 02/04/24	2030 days							
1	Infrastructure	Mon 16/03/20	Thu 16/12/21	459 days							
2	Safety and Security System	Mon 15/02/21	Thu 18/11/21	199 days							
3	Telescope	Wed 22/06/16	Tue 17/10/23	1910 days							
4	ICT	Wed 04/12/19	Tue 30/11/21	520 days							
5	Software	Thu 04/07/19	Mon 29/05/23	1018 days							
6	MCCS	Thu 20/02/20	Wed 23/11/22	720 days							
8	On Site Integration & Verification	Thu 23/09/21	Tue 02/04/24	659 days							

1st telescope ready to ship → Sep 2021

1st camera ready to ship → Aug 2022

AIV 1st telescope start → Sep 2022

Ready for commissioning → Dec 2023

Ready for operations → June 2024

INAF e l'astronomia gamma da terra, i progetti: Cherenkov Telescope Array (CTA)

Progetto Internazionale a guida Europea.

Realizzazione di 2 array con 100 telescopi in due siti: Canarie e Cile. Sensitivity migliore di circa 10 volte quella degli attuali IACT.

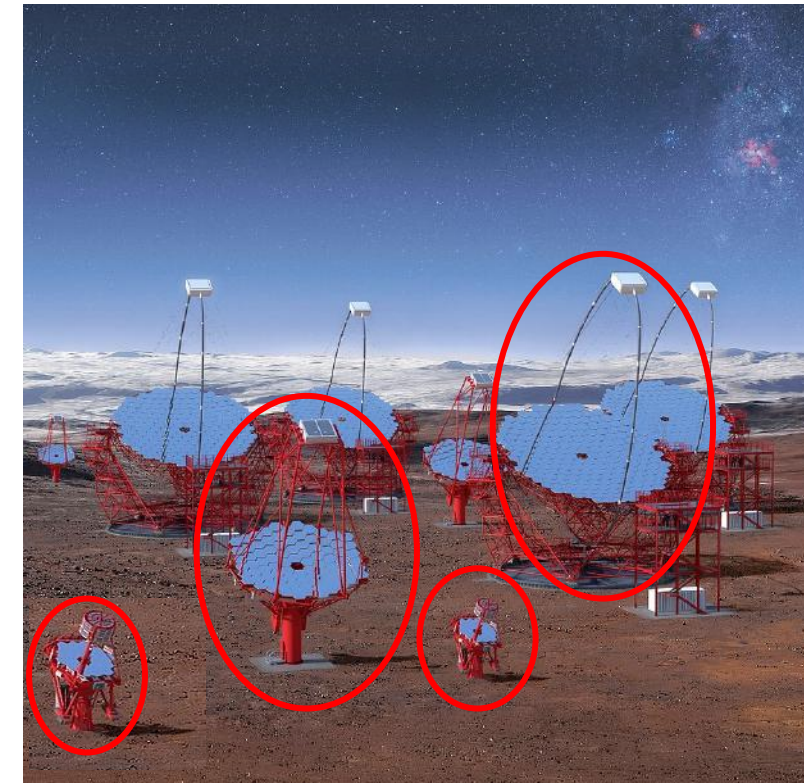
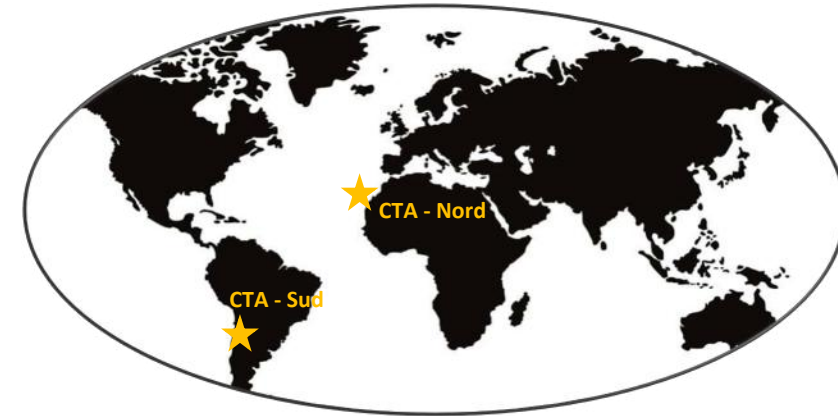
L'Italia, attraverso INAF, contribuisce tanto alla scienza quanto alla realizzazione del progetto anche attraverso **forti sinergie** con SKA e precursori , IXPE, Swift, Fermi, Athena, organizzazione di programmi multi-wavelength e multi-messenger, etc.

In particolare il contributo INAF alla costruzione del progetto riguarda la realizzazione:

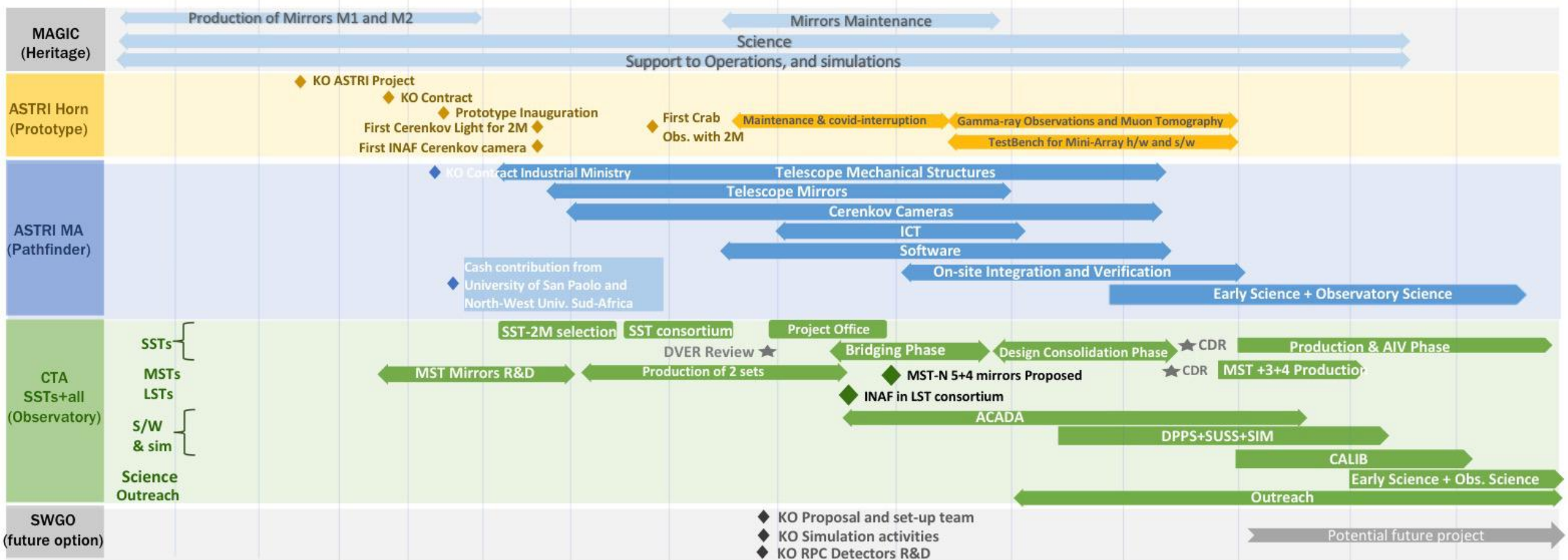
- di 35 Small-Size Telescope (SST);
- degli specchi degli MST al nord;
- del software e operazioni degli LST anche in connessione con MAGIC;
- del data center;
- del software di gestione e di quello scientifico;
- della strumentazione, simulazioni e software per la calibrazione;
- dell'archivio dei dati;
- forte partecipazione a: data challenge, commissioning, science verification.

INAF ospita a Bologna gli Head Quarter del progetto e l'Italia sarà la sede della costituenda ERIC per la gestione del CTA.

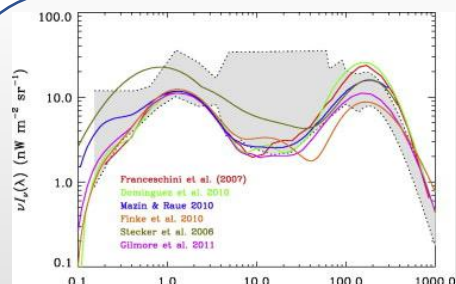
Costo del progetto per l'Italia: 50 M€ (fondi MUR)



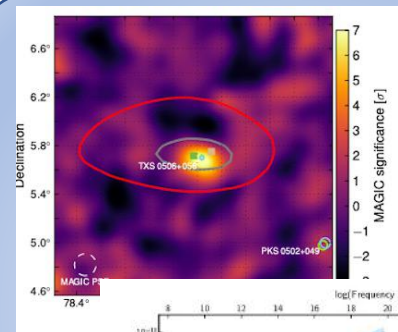
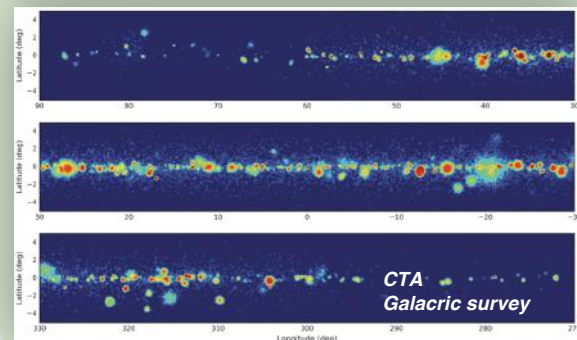
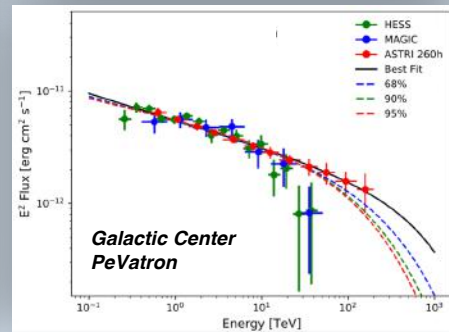
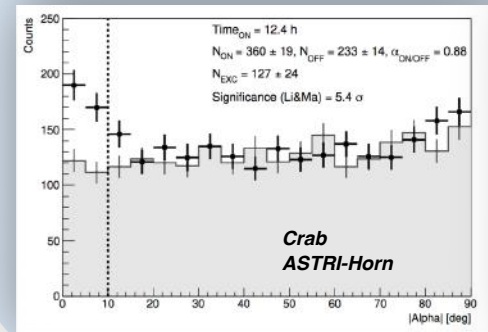
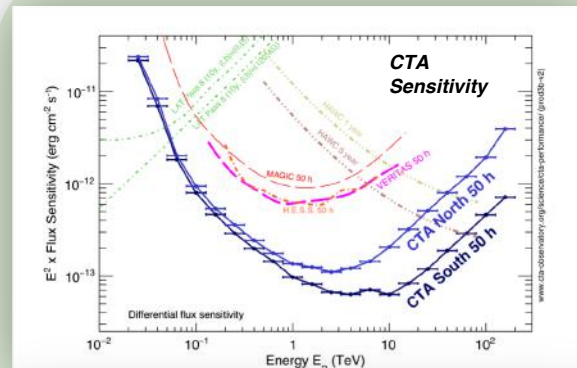
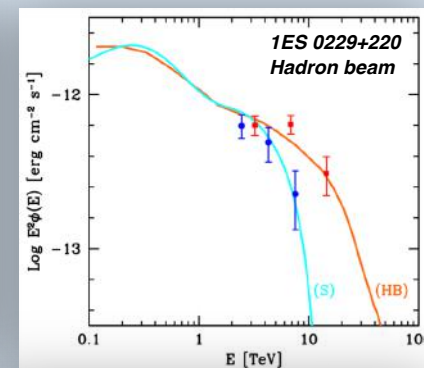
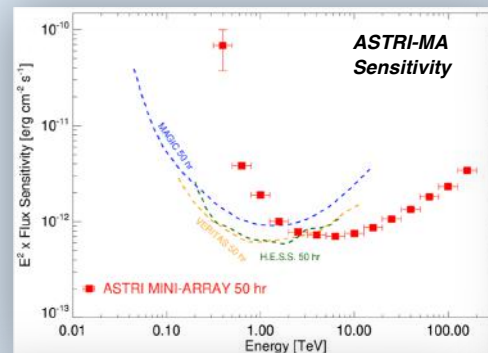
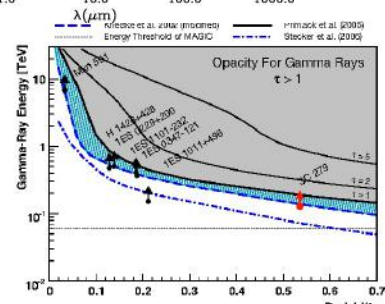
PROGRESS - Program Roadmap (2006-2027+)



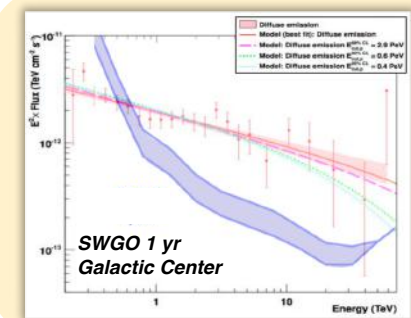
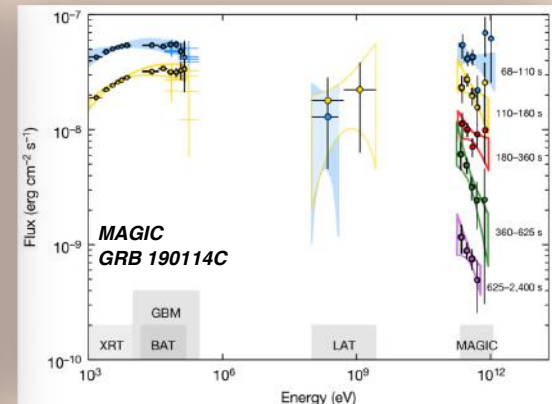
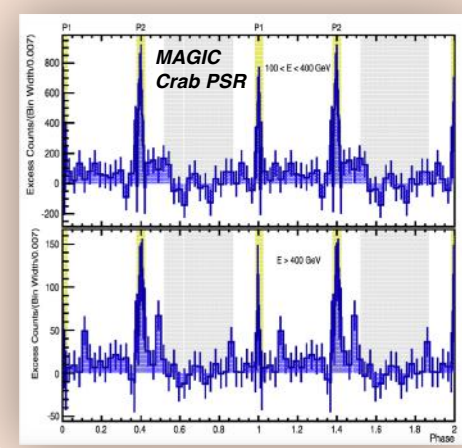
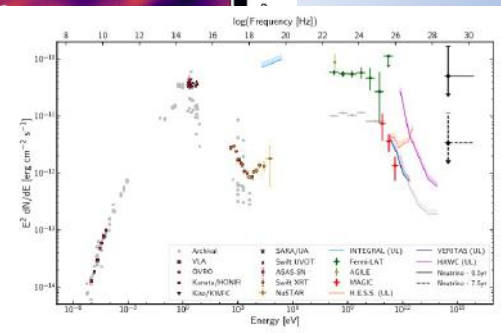
L'astronomia gamma da terra: risultati e prospettive.



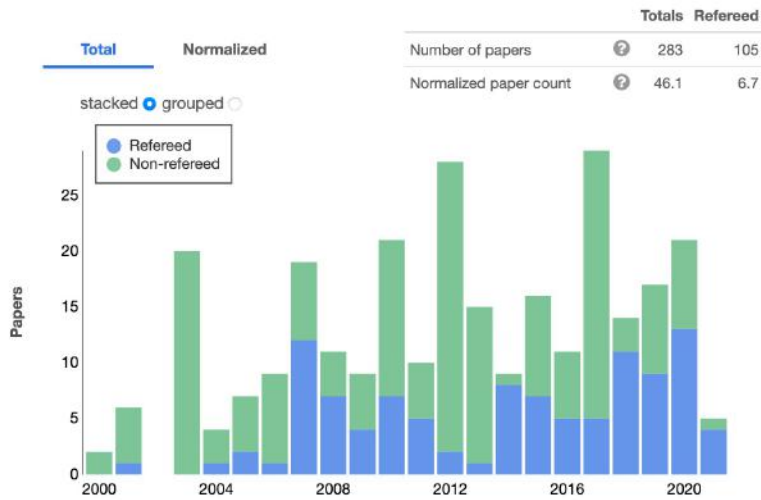
MAGIC e l'EBL



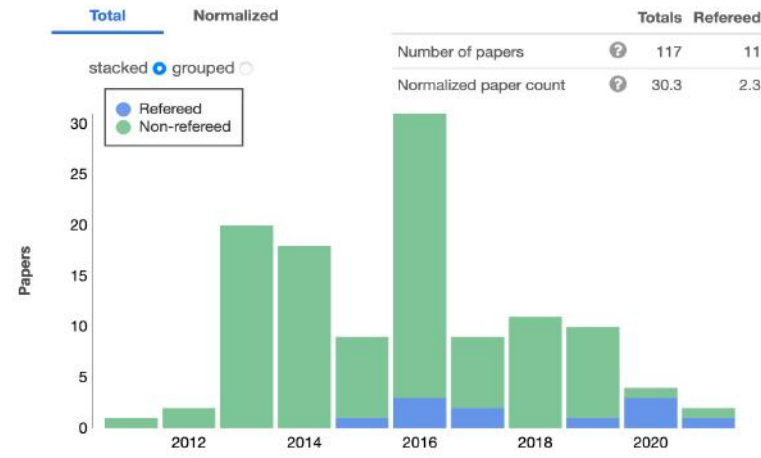
TXS0502
Neutrino source
IceCube+MAGIC



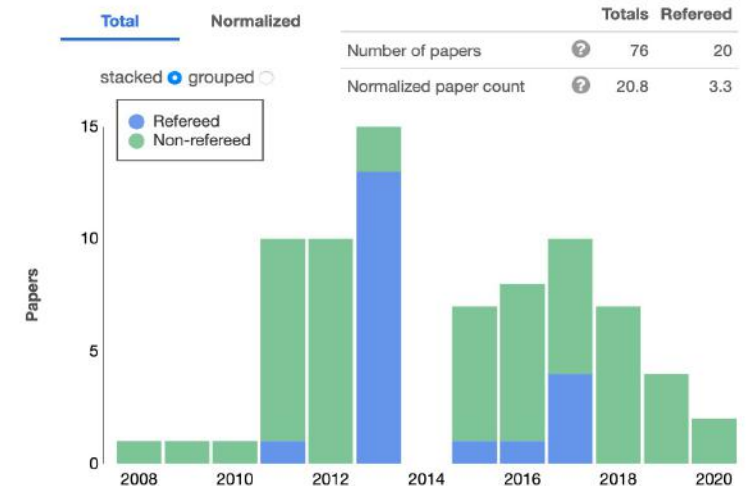
L'astronomia gamma da terra: risultati e prospettive.



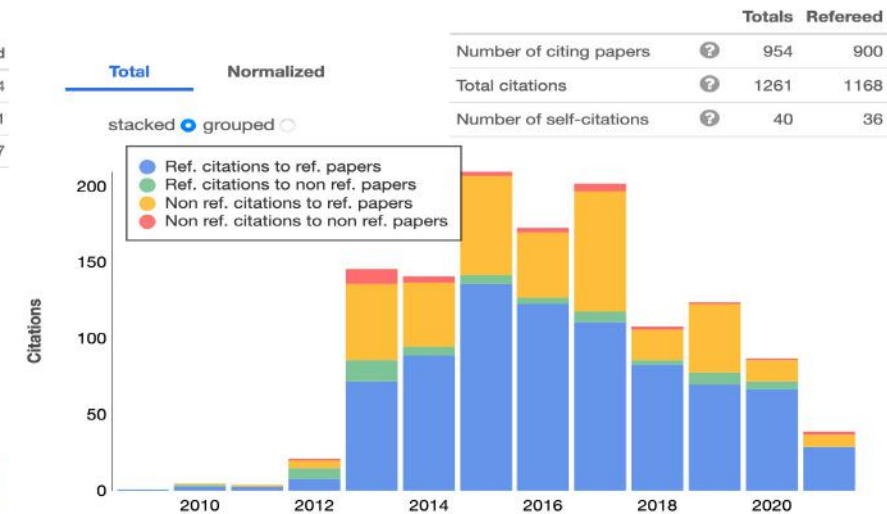
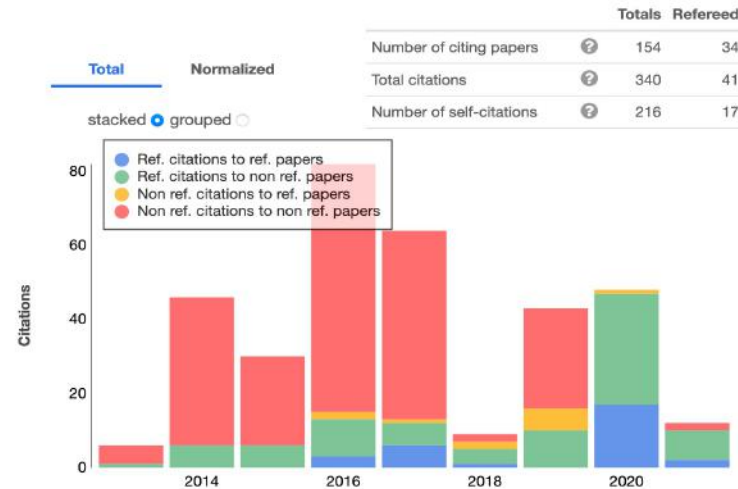
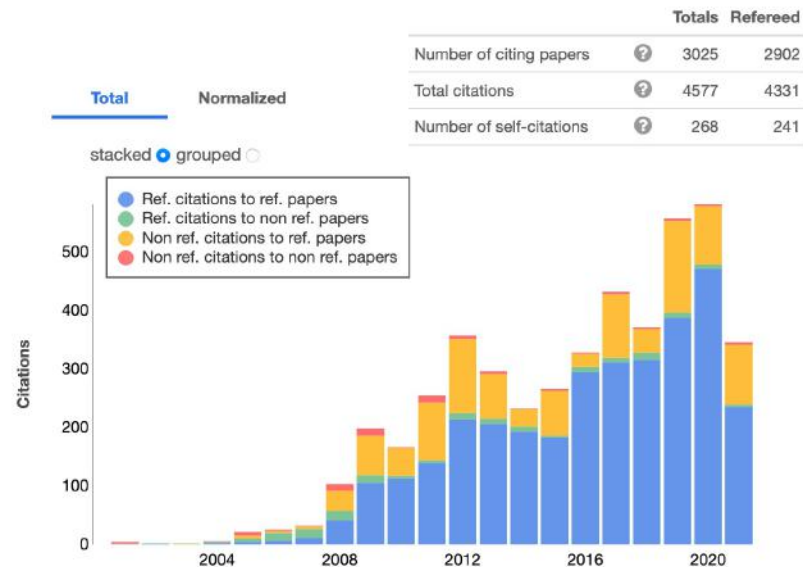
MAGIC Collaboration



ASTRI-Horn



CTA Consortium



INAF e l'astronomia gamma da terra: **criticità.**



Come per tutti i grandi progetti INAF evidenziamo simili criticità:

- Necessità di formare giovani ricercatori e tecnologi da inserire nelle aree tipiche della gestione dei progetti INAF.
- Reclutamento di personale dell'area tecnica di laboratorio e di officina.
- Creazione di una struttura INAF che possa gestire interamente la parte amministrativa (ordini, bandi, richieste di offerte, etc.) di contratti pubblici e internazionali multi-milionari.
- Sostenere le attività di outreach specifiche per l'astronomia Gamma da terra (e le sue infrastrutture), con fondi dedicati e man-power specifico.
- Sostegno alle figure scientifiche, soprattutto quelle più giovani, che andranno supportate con investimenti INAF *ad-hoc* (ad es. scuole, tesi, dottorati, simposi, etc.) per prepararli e sostenerli nell'analisi e nell'interpretazione dei dati ottenuti a partire da MAGIC passando per il Mini Array fino ad arrivare al CTA anche in un contesto MWL e MM.