

**MINISTERO DELL'ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA***Direzione Generale per il Coordinamento e lo Sviluppo della Ricerca***Relazione Scientifica finale  
PRIN 2009 - protocollo: 2009W2LXP8****Dati Progetto****Titolo del progetto:** Astrofisica nei raggi gamma con il Cherenkov Telescope Array.**Finanziamento MIUR:** Euro 290.412**Costo progetto:** Euro 414.875**Coordinatore Scientifico****BIGNAMI** Giovanni Fabrizio  
**(cognome)** **(nome)**Professore Ordinario 10/04/1944 BGNGNN44D10D286O  
**(qualifica)** **(data di nascita)** **(Codice Fiscale)**I.U.S.S. - Istituto Universitario di Studi Superiori - PAVIA  
**(Università/Ente)****Lista delle Unità di Ricerca (UR)**

| n° | Responsabile Scientifico  | Qualifica                           | Istituzione  | Dip/Ist/Div/Sez |
|----|---------------------------|-------------------------------------|--|-----------------|
| 1. | BIGNAMI Giovanni Fabrizio | Professore Ordinario                | I.U.S.S. - Istituto Universitario di Studi Superiori - PAVIA | IUSS -- PAVIA   |
| 2. | DE ANGELIS Alessandro     | Professore Ordinario                | Università degli Studi di UDINE                              | FISICA          |
| 3. | PAOLETTI Riccardo         | Professore Associato confermato     | Università degli Studi di SIENA                              | FISICA          |
| 4. | SACCO Bruno               | Dirigente di ricerca                | Istituto Nazionale di Astrofisica                            |                 |
| 5. | MARIOTTI Mose'            | Professore Associato non confermato | Università degli Studi di PADOVA                             | FISICA          |

**Costo complessivo rendicontato** Euro: 420355.754**Durata effettiva del progetto:** 24 mesi

## Obiettivo della ricerca eseguita

Obiettivo della ricerca è stato potenziare la partecipazione italiana in CTA grazie alla presenza negli organi di gestione e controllo della collaborazione internazionale e grazie allo sviluppo di prototipi e tecnologia.

In ambito INAF, l'obiettivo della ricerca è consistito nello sviluppo di prototipi e metodologie utili alla realizzazione di un prototipo end-to-end del Piccolo Telescopio (SST) nell'ambito del progetto internazionale Cherenkov Telescope Array (CTA) che vedrà il dispiegamento circa 100 telescopi di diverso diametro per l'osservazione della radiazione tra 20 GeV e 100 TeV. Le principali novità tecnologiche del prototipo INAF in via di costruzione sono: il sistema ottico a due specchi, il più grande con 4 metri di diametro, che agiscono quali collettori di luce verso la camera posta sul piano focale; la camera, composta da sensori al silicio di ultima generazione; l'elettronica veloce di lettura dei sensori; il sistema di controllo e gestione. Il prototipo sarà installato nel Parco dell'Etna presso la stazione osservativa INAF "M.G. Fracastoro" (Serra La Nave).

L'unità di ricerca di Padova, ha svolto tre attività principali, tutte di grande interesse per il futuro esperimento CTA:

- caratterizzazione e sviluppo di fotosensori a stato solido (SiPm) per telescopi Cherenkov
- sviluppo di nuove tecnologie per elementi riflettenti di telescopi Cherenkov
- sviluppo e realizzazione di elettronica di trigger di nuova concezione per telescopi Cherenkov

Si è sviluppata un'elettronica di acquisizione e di selezione degli eventi con caratteristiche di modularità e versatilità per essere adottate nelle varie configurazioni meccaniche dei telescopi Cherenkov.

Il programma è stato diviso nei punti seguenti:

- 1) progettazione e realizzazione della elettronica di acquisizione per telescopi Cherenkov di media e piccola dimensione (diametro 12 m e 4-7 m), attraverso l'uso di campionatore analogico Domino Ring Sampler (DRS4) e comunicazione dati via Gbit-Ethernet.
- 2) progettazione e realizzazione della elettronica di selezione in linea di natura analogica e digitale ed integrazione nella elettronica di campionamento.

## Descrizione della ricerca eseguita

Oltre alla partecipazione ai lavori della collaborazione CTA e ai suoi organi di controllo, la ricerca si è articolata in diversi settori previsti nel progetto presentato al MIUR.

In ambito INAF si sono realizzati diversi prototipi, sia hardware, sia software. Sono stati realizzati prototipi dei segmenti dello specchio primario di SST, ottenuti affinando la metodologia di produzione a sandwich degli specchi basata sulla tecnologia del "cold slumping". Per quanto riguarda il piano focale del telescopio, si sono realizzati prototipi del "photon detection module", comprensivo sia dei rivelatori al silicio, sia delle schede di elettronica. Sono stati realizzati gran parte dei sistemi di calibrazione relativa ed assoluta del telescopio, attualmente in fase di test di laboratorio. E' stato implementato un accurato Monte Carlo del prototipo di SST, rappresentativo per la parte strutturale, per il sistema ottico, per la sensoristica, per l'elettronica di lettura e per il trattamento del segnale. Inoltre, si è provveduto ad iniziare la realizzazione della infrastruttura di archivio dati ed alla realizzazione di prototipi del software di simulazione, ricostruzione, analisi ed archivio dei dati.

L'attività svolta a Padova è stata focalizzata verso la realizzazione di un prototipo dell' "elemento base" (pixel) di un piano focale di un grande telescopio Cherenkov, vale a dire l'equivalente a stato solido di un fotomoltiplicatore avente un diametro caratteristico di 1 pollice (2.54 cm), sensibile al singolo fotone ed in grado di fornire una risposta con caratteristiche temporali inferiori al nanosecondo.

La tecnologia basata sui SiPM permette con relativa facilità la realizzazione di dispositivi di dimensioni di 3-5 mm. Per raggiungere la scala del pollice quadrato sono stati necessari alcuni passi fondamentali affrontati in questo progetto:

- 1) realizzazione di SiPM con caratteristiche e dimensioni adeguate per formare una matrice di grandi dimensioni e in grado di fornire buona sensibilità all' UV
- 2) una architettura di alimentazione in grado di gestire una matrice formata da alcune decine di SiPM di cui al punto 1)
- 3) una elettronica di lettura in grado di gestire SiPM di grandi dimensioni

L'attività svolta a Padova si è concentrata nel testare ed arrangiare fotosensori basati sulla tecnologia SiPM a grande efficienza che risultino adeguati per le esigenze dei grandi telescopi: grandi superfici fotosensibili ad elevata efficienza di rivelazione.

Sono state sviluppate soluzioni di trigger e di front-end con moduli o mezzanine per provare varie configurazioni sulla

stessa schema madre che alloggia la conversione, digitalizzazione e trasmissione dei dati. Ad esempio, la mezzanina di trigger viene alloggiata sulla scheda madre di acquisizione e permette lo studio di una soluzione puramente analogica (in collaborazione con IFAE e UCM) o digitale (in collaborazione con DESY).

Il trigger analogico si basa su un'architettura a due livelli (livello 0 e livello 1) in cui i segnali analogici di fotomoltiplicatori vicini sono sommati in modo analogico assieme ai moduli vicini. Il segnale di selezione (trigger) è definito da un valore di somma analogica che eccede una soglia programmabile e la decisione di trigger viene propagata a catena ai moduli della camera del telescopio.

Il trigger di tipo digitale si basa invece sulla discriminazione dei segnali di ciascun fotomoltiplicatore e l'informazione viene gestita in modo digitale per realizzare combinazioni logiche di pixel vicini. La decisione del trigger viene gestita da un modulo centrale che si occupa anche della distribuzione dei segnali agli altri moduli della camera.

La elettronica di front-end (in collaborazione con ICRR Tokyo) si basa sul campionamento dei segnali analogici da parte di un dispositivo SCA (Switched Capacitor Array) in cui la carica viene immagazzinata da un banco di condensatori abilitati in sequenza ad alta frequenza, tipicamente 1-2 Giga-samples/secondo. Il segnale di trigger determinato localmente fa partire il processo di acquisizione dei dati per cui le cariche immagazzinate sono digitalizzate da convertitori esterni ed i dati vengono poi trasmessi ad un computer centrale tramite il protocollo Ethernet.

L'elettronica è alloggiata in moduli tipo "plug-in" per lo studio di componenti attivi di amplificazione per la generazione dei due guadagni (alto e basso) necessari al raggiungimento dell'intervallo dinamico richiesto (circa 5000 fotoelettroni per garantire la calibrazione in linea con singolo fotoelettrone e la registrazione di sciame con alto deposito di carica nella camera).

## Problemi riscontrati nel corso della ricerca

Durante la realizzazione dell'elettronica di campionamento e acquisizione si è resa necessaria la sostituzione di alcuni componenti nel progetto in quanto la loro risposta in frequenza deformava il segnale oltre le specifiche. Non si è trattato di veri e propri problemi che hanno messo in crisi il progetto ma di una naturale evoluzione, concretizzata nella costruzione e test di vari prototipi.

## Risultati scientifici conseguiti

| Tipologia del risultato  | Si/No | Descrizione   |
|--|-------|---|
| <b>Realizzazione di nuova strumentazione scientifica e/o di dispositivi avanzati</b> | SI    | <p>In ambito INAF, è in fase avanzata la realizzazione del sistema di calibrazione relativa ed assoluta del Piccolo Telescopio per mezzo di sistemi opto-elettronici di alta precisione. Essa permetterà di ottenere, per la prima volta in ambito dei telescopi Cherenkov, la calibrazione assoluta "end to end" multi spettrale del telescopio anche durante i periodi osservativi; infatti, data la particolare ampiezza della banda spettrale dei rivelatori Cherenkov è necessaria un'accurata determinazione della risposta spettrale ad alta risoluzione. Per questa ragione il prototipo realizzato consiste di una sorgente di luce continua a larga banda, di un monocromatore e di un rivelatore di luce di riferimento la cui risposta spettrale è stata calibrata in laboratorio con un'accuratezza del 5%. Tale tecnica verrà utilizzata anche in ambito CTA. Inoltre, si è realizzata l'architettura hardware del centro di data-base dei dati del Piccolo Telescopio, sia per la parte di archivio, sia per la parte di riduzione ed analisi dati.</p> <p>Trigger di nuova concezione per L'esperienza MAGIC (Sumtrigger)<br/> Realizzazione di matrici di sensori adatte a diventare l'elemento di piano focale (pixel) del grande telescopio LST di CTA<br/> Sviluppo di un'architettura elettronica di somma "analogica" a larga banda per amplificare e condizionare i segnali provenienti dalle matrici di SiPm<br/> Messa a punto di una tecnologia alternativa e competitiva per realizzare elementi riflettenti per CTA</p> <p>Prototipi di schede elettroniche e dimostratori a più canali.</p> <p>Prototipo di specchio multistrato (sandwich di vetri sottili) per telescopio Cherenkov (PD)</p> |

|  |    |  |
|--|----|--|
| <b>Messa in opera di metodologie scientifiche avanzate</b> | SI | <p>In ambito INAF, si sono ulteriormente affinate le tecniche di fabbricazione di specchi per l'astronomia Cherenkov. In particolare, a causa della particolare forma molto asferica fuori asse dei pannelli dello specchio primario, è stata ulteriormente affinata la metodologia di produzione a sandwich degli specchi basata sulla tecnologia del "cold slumping" che permette di produrre una vasta gamma di tipi diversi di specchi utili sia per il prototipo di Piccolo Telescopio, sia per altri telescopi in ambito CTA.</p> <p>Dal punto di vista della sensoristica, l'utilizzo di fotomoltiplicatori al silicio ha imposto l'affinamento delle metodologie di lettura di tali dispositivi ad elevata risoluzione temporale (nanosecondo), imponendo lo sviluppo di una elettronica veloce e dalle dimensioni estremamente compatte.</p> <p>Sviluppo di un'architettura elettronica di somma "analogica" a larga banda per amplificare e condizionare i segnali provenienti dalle matrici di SiPm</p> <p>Campionamento ad alta frequenza di segnali analogici veloci, tecnologia usata anche in strumentazione professionale di gestione di segnali elettronici. Logica di selezione di segnali differenziali veloci, protocolli LVDS e Gbit-Ethernet.</p> <p>Software di analisi automatica dei dati del telescopi Fermi; eventuali variazioni di flusso rilevate fungono da alert per i telescopi Cherenkov (UD). Nuovo trigger a bassa energia per telescopi Cherenkov (PD, SI, UD). Progettazione, sviluppo e realizzazione di un nuovo trigger stereoscopico analogico per i Telescopi Cherenkov. Un prototipo del trigger è stato da poco implementato nel telescopio MAGIC a La Palma ed esso sta incrementando l'efficienza delle rilevazioni ad energie molto basse (&lt;50GeV) nel dominio VHE, dove gli obiettivi principali sono AGN, Pulsars e GRB molto distanti. Questo nuovo concetto di trigger è basato sulla somma analogica di segnali che provengono da aree diverse della camera rilevatrice.</p> |
| <b>Altro</b>   | NO |  |

## Prodotti realizzati

| Tipologia del risultato  | Si/No | Descrizione  |
|--|-------|--|
| <b>Pubblicazioni scientifiche: (indicare pubblicazione con autori, titolo, tipo di pubblicazione - monografia, libro di testo, capitolo di libro, rivista, atti di congressi, corpora, relazioni su invito, - e se soggetta a processo di revisione)</b> | SI    | <p>Introducing the CTA concept<br/> <a href="http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_7.pdf">http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_7.pdf</a><br/>           Astroparticle Physics, Volume 43, p. 3-18<br/>           03/2013</p> <p>The ASTRI Mini-Array Science Case<br/> <a href="http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_1.pdf">http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_1.pdf</a><br/>           Proceedings of the 33rd International Cosmic Ray Conference (ICRC2013), Rio de Janeiro (Brazil).<br/>           arXiv:1307.5671<br/>           07/2013</p> <p>Expected performance of the ASTRI-SST-2M telescope prototype<br/> <a href="http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_2.pdf">http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_2.pdf</a><br/>           Proceedings of the 33rd International Cosmic Ray Conference (ICRC2013), Rio de Janeiro (Brazil).<br/>           arXiv:1307.5006<br/>           07/2013</p> <p>The dual-mirror Small Size Telescope for the Cherenkov Telescope Array<br/> <a href="http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_3.pdf">http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_3.pdf</a><br/>           Proceedings of the 33rd International Cosmic Ray Conference (ICRC2013), Rio de Janeiro (Brazil).<br/>           arXiv:1307.4962<br/>           07/2013</p> <p>Towards the ASTRI mini-array<br/> <a href="http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_4.pdf">http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_4.pdf</a></p> |

Proceedings of the 33rd International Cosmic Ray Conference (ICRC2013), Rio de Janeiro (Brazil).  
arXiv:1307.3992  
07/2013

The ASTRI Project: prototype status and future plans for a Cherenkov dual-mirror small-telescope array  
[http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta\\_6.pdf](http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_6.pdf)  
2012 Fermi Symposium proceedings.  
arXiv:1303.2024  
03/2013

The Italian ASTRI program: an end-to-end dual-mirror telescope prototype for the CTA Small System telescope array  
[http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta\\_8.pdf](http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_8.pdf)  
39th COSPAR Scientific Assembly. Held 14-22 July 2012, in Mysore, India.  
Abstract E1.11-24-12, p.278  
07/2012

CTA contributions to the 33rd International Cosmic Ray Conference (ICRC2013)  
Index of CTA conference proceedings at the ICRC2013, Rio de Janeiro (Brazil).  
<http://arxiv.org/html/1307.2232v2>  
arXiv:1307.2232  
07/2013

Leto G., et al., for the ASTRI Collaboration  
"The Site of the ASTRI SST-2M Telescope Prototype: Atmospheric Monitoring and Auxiliary Instrumentation"  
Procs. AtmoHEAD, 10-12 June 2013, CEA Saclay, Paris (France)

Impiombato D., et al., for the ASTRI Collaboration  
"Evaluation of the optical cross talk level in the SiPMs adopted in ASTRI SST-2M Cherenkov Camera using EASIROC front-end electronics"  
Procs. 13th IPRD, 7-10 October 2013, Siena (Italy), in press - (arXiv:1312.0381)

Sironi G., et al., for the ASTRI Collaboration  
"Worthwhile optical method for free-form mirrors qualification"  
Procs. SPIE Optifab, 14-17 October 2013, Rochester, NY, (paper no. 8884-37)

Canestrari R., et al., for the ASTRI Collaboration  
"Shaping of thin glass foils for the fabrication of mirrors with pronounced asphericity"  
Procs. SPIE Optifab, 14-17 October 2013, Rochester, NY, (paper no. 8884-66)

De Caprio V., et al., for the ASTRI Collaboration  
"The ASTRI SST-2M Prototype: Camera Design"  
Procs. SPIE Optics+Photonics, 25-29 August 2013, San Diego, CA, (paper no. 8836-2)

Canestrari R., for the ASTRI Collaboration  
"The ASTRI SST-2M prototype for the next generation of Cherenkov telescopes: Structure and Mirrors"  
Procs. SPIE Optics+Photonics, 25-29 August 2013, San Diego, CA, (paper no. 8861-1)

Bonnoli G., et al., for the ASTRI Collaboration  
"Reflective and antireflective coatings for the optical chain of the ASTRI SST-2M prototype"  
Procs. SPIE Optics+Photonics, 25-29 August 2013, San Diego, CA, (paper no. 8861-61)

Canestrari R., for the ASTRI Collaboration  
"The ASTRI SST-2M Prototype: Structure and Mirror"  
Procs. 33rd ICRC2013, 2-9 July 2013, Rio de Janeiro (Brazil) - (arXiv:1307.4851)

Bonnoli G., et al., for the ASTRI Collaboration  
"Boosting the performance of the ASTRI SST-2M prototype: reflective and anti-reflective coatings"

|                                    |    |   |
|------------------------------------|----|---|
|                                    |    | <p>Procs. 33rd ICRC2013, 2-9 July 2013, Rio de Janeiro (Brazil) - (arXiv:1307.5405)</p> <p>Catalano O., et al., for the ASTRI Collaboration<br/>"The ASTRI SST-2M Prototype: Camera and Electronics"<br/>Procs. 33rd ICRC2013, 2-9 July 2013, Rio de Janeiro (Brazil) - (arXiv:1307.5142)</p> <p>Maccarone M.C., et al., for the ASTRI Collaboration<br/>"The Site of the ASTRI SST-2M Telescope Prototype"<br/>Procs. 33rd ICRC2013, 2-9 July 2013, Rio de Janeiro (Brazil) - (arXiv:1307.5139)</p> <p>Antonelli L.A., et al., for the ASTRI Collaboration<br/>"ASTRI SST-2M Data Handling and Archiving System"<br/>Procs. 33rd ICRC2013, 2-9 July 2013, Rio de Janeiro (Brazil) - (arXiv:1307.7344)</p> <p>Strazzeri, E., et al., for the ASTRI Collaboration<br/>"Calibration of the ASTRI SST-2M Prototype using Muon Ring Images"<br/>Procs. 33rd ICRC2013, 2-9 July 2013, Rio de Janeiro (Brazil) - (arXiv:1307.5204)</p> <p>Tosti G., et al., for the ASTRI Collaboration<br/>"The ASTRI Mini-Array Software System"<br/>Procs. 33rd ICRC2013, 2-9 July 2013, Rio de Janeiro (Brazil) - (arXiv:1307.6847)</p> <p>"The Cherenkov Telescope Array Large Size Telescope",<br/>CTA Consortium Collaboration (G. Ambrosi et al.).<br/>33rd International Cosmic Ray Conference (ICRC 2013), 2-9 Jul 2013. Rio de Janeiro, Brazil</p> <p>"Development of the Photomultiplier-Tube Readout System for the CTA Large Size Telescope", CTA Consortium Collaboration (H. Kubo et al.).<br/>33rd International Cosmic Ray Conference (ICRC 2013), 2-9 Jul 2013. Rio de Janeiro, Brazil</p> <p>"Development of the Readout System for CTA Using the DRS4 Waveform Digitizing Chip",<br/>R. Paoletti, H. Kubo,<br/>IEEE Nuclear Science Symposium, October 27 - November 2, COEX, Seoul, Korea</p> <p>Emitting electrons and source activity in Markarian 501<br/>Nijil Mankuzhiyil, Stefano Ansoldi, Massimo Persic, Elizabeth Rivers, Richard Rothschild, Fabrizio Tavecchio. May 2012. 8 pp.<br/>Astrophys.J. 753 (2012) 154</p> <p>The environment and distribution of emitting electrons as a function of source activity in Markarian 421<br/>Nijil Mankuzhiyil, Stefano Ansoldi, Massimo Persic, Fabrizio Tavecchio. Mar 2011. 23 pp.<br/>Astrophys.J. 733 (2011) 14</p> <p>New improved Sum-Trigger system for the MAGIC telescopes<br/>DENNIS HAEFNER, THOMAS SCHWEIZER, FRANCESCO DAZZI, DANIELE CORTI<br/>Proc. ICRC 2011</p> |
| <b>Tesi di dottorato collegate</b> | SI | <p>Tesi di dottorato correlata della Dr.ssa Cornelia Schultz:<br/>Development of New Composite Mirrors for Imaging Cherenkov Telescopes and Observations of the Two Blazar Objects 1ES 0806+524 and 1ES 1011+496 with MAGIC</p> <p>Tesi di dottorato del Dr. Francesco Dazzi: A new stereoscopic 'Sum-Trigger-II' for the MAGIC Telescopes</p>  |
| <b>Realizzazione di prototipi</b>  | SI | <p>Telescopio ASTRI<br/><a href="http://www.brera.inaf.it/astri/">http://www.brera.inaf.it/astri/</a></p> <p>In ambito INAF, è in fase avanzata la realizzazione del prototipo end-to-end the Piccolo Telescopio da proporre alla Collaborazione CTA. Il prototipo è innovativo</p>   |

|  |    |  |
|--|----|--|
|  |    | <p>sotto diversi aspetti. Per la prima volta nell'astronomia Cherenkov, è in fase di realizzazione una struttura meccanica che permetta di ospitare un sistema ottico a due specchi in configurazione Schwarzschild-Couder. Inoltre, i rivelatori di luce al piano focale di tale prototipo sono fotomoltiplicatori basati sul silicio, anch'essi utilizzati per la prima volta in Astronomia Cherenkov. Il prototipo del Piccolo Telescopio verrà installato nell'autunno 2014 presso il sito osservativo INAF di Serra La Nave (CT) sul monte Etna. Durante lo svolgimento del Progetto, sono stati realizzati prototipi dei diversi segmenti dello specchio primario, un prototipo dello specchio secondario, prototipi di un "photon detection module" compreso di elettronica, il prototipo della catena di calibrazione relativa ed assoluta (UVscope e UVSIPM) e di svariate risorse software necessarie all'acquisizione ed al trattamento dei dati.</p> <p>Prototipi di schede di acquisizione, dimostratori meccanici ed elettronici per più canali allo scopo di test di funzionamento, raffreddamento e integrazione.</p> <p>Prototipo di specchio multistrato (sandwich di vetri sottili) per telescopio Cherenkov (PD).</p> <p>Prototipo di trigger a bassa soglia per telescopi Cherenkov (PD, SI, UD).</p> |
| <b>Brevetti realizzati nell'ambito del progetto</b>  | SI | "Differential logic gates with n inputs" PCT/ES 2012/000059, March 14, 2011  |
| <b>Sintesi di nuove molecole e/o di materiali artificiali</b>  | NO |  |
| <b>Sviluppo di software open source o commerciale (dare titolo del programma, numero di linee di codice, uso previsto, link al website dove il software si trova, ...)</b> | NO |  |
| <b>Altro</b>   | SI | <p>Sviluppo software di proprietà.</p> <p>In ambito INAF, è stato sviluppato un Monte Carlo della funzione di risposta e della "performance" scientifica del Piccolo Telescopio, indispensabile alla progettazione del Piccolo Telescopio. Lo sviluppo del codice Monte Carlo, in sinergia con i lavori analoghi della Collaborazione CTA, ha permesso l'inserimento del modello del Piccolo Telescopio sviluppato da INAF nel codice Monte Carlo generale di CTA. Tale modello è rappresentativo per la parte strutturale, per il sistema ottico, per la sensoristica, per l'elettronica di lettura e per il trattamento del segnale.</p>   |

### Realizzazione di nuovi network e collaborazioni

| Tipologia del risultato  | Si/No | Descrizione  |
|--|-------|--|
| <b>Accordi di collaborazione con organizzazioni scientifiche nazionali</b> | SI    | Partecipano INAF, INFN oltre a diverse Università.                 |
| <b>Accordi di collaborazione con imprese nazionali</b>                     | SI    | Contratto per la realizzazione del prototipo ASTRI su altri fondi. |

|   |    |   |
|---|----|---|
|   |    | <p>Accordo con Impresa COMPOSITEX di Vicenza per la realizzazione di elementi riflettenti.</p> <p>Accordo con Fondazione Bruno Kessler (Trento) per lo sviluppo di rivelatori di fotoni di nuova generazione (Silicon PhotoMultipliers).</p>  |
| <b>Accordi di collaborazione con organizzazioni scientifiche internazionali</b> | SI | <p>Il Consorzio CTA consiste di oltre 1000 membri in 27 nazioni: Argentina, Armenia, Austria, Brasile, Bulgaria, Croazia, Repubblica Ceca, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, India, Irlanda, Italia, Giappone, Messico, Namibia, Olanda, Norvegia, Polonia, Slovenia, Sud Africa, Spagna, Svezia, Svizzera, Regno Unito e USA.</p> <p>Accordo con Max Plank Insitute per la realizzazione del nuovo trigger di MAGIC.</p> <p>Collaborazione con varie università straniere, europee e non: Institut de Fisica d'Altes Energies (IFAE Barcellona, Spagna), Universidad Complutense de Madrid (UCM, Spagna), Institute for Cosmic Ray Research (ICRR Tokyo, Giappone), Desy Zeuthen-Berlino (Germania).</p> |
| <b>Accordi di collaborazione con imprese internazionali</b>                     | SI | <p>Collaborazione con LT-ultra per la lavorazione degli stampi di precisione per la realizzazione degli specchi.</p> <p>Hamamatsu (Giappone)</p>  |
| <b>Altro</b>  | NO |   |

## Note

## DIFFUSIONE DEI DATI SCIENTIFICI

### Informazione

| Modalità   | Si/No | Descrizione   |
|--|-------|---|
| <b>Pubblicazioni (escluse quelle con referaggio)</b> | SI    | <p>Gli specchi italiani resistono a tutto<br/> <a href="http://www.iasf-milano.inaf.it/~pat/WEBpage/articoli/sole/specchi.pdf">http://www.iasf-milano.inaf.it/~pat/WEBpage/articoli/sole/specchi.pdf</a><br/>           Il Sole 24 Ore, 14/03/13, p. 27</p> <p>The ASTRI Mini-Array Science Case<br/> <a href="http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_1.pdf">http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_1.pdf</a><br/>           Proceedings of the 33rd International Cosmic Ray Conference (ICRC2013), Rio de Janeiro (Brazil).<br/>           arXiv:1307.5671<br/>           07/2013</p> <p>Expected performance of the ASTRI-SST-2M telescope prototype<br/> <a href="http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_2.pdf">http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_2.pdf</a><br/>           Proceedings of the 33rd International Cosmic Ray Conference (ICRC2013), Rio de Janeiro (Brazil).<br/>           arXiv:1307.5006<br/>           07/2013</p> <p>The dual-mirror Small Size Telescope for the Cherenkov Telescope Array<br/> <a href="http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_3.pdf">http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_3.pdf</a><br/>           Proceedings of the 33rd International Cosmic Ray Conference (ICRC2013), Rio de Janeiro (Brazil).<br/>           arXiv:1307.4962<br/>           07/2013</p> |

Towards the ASTRI mini-array  
[http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta\\_4.pdf](http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_4.pdf)  
Proceedings of the 33rd International Cosmic Ray Conference (ICRC2013), Rio de Janeiro (Brazil).  
arXiv:1307.3992  
07/2013

The ASTRI Project: prototype status and future plans for a Cherenkov dual-mirror small-telescope array  
[http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta\\_6.pdf](http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_6.pdf)  
2012 Fermi Symposium proceedings.  
arXiv:1303.2024  
03/2013

The Italian ASTRI program: an end-to-end dual-mirror telescope prototype for the CTA Small System telescope array  
[http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta\\_8.pdf](http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/cta_8.pdf)  
39th COSPAR Scientific Assembly. Held 14-22 July 2012, in Mysore, India.  
Abstract E1.11-24-12, p.278  
07/2012

CTA contributions to the 33rd International Cosmic Ray Conference (ICRC2013)  
Index of CTA conference proceedings at the ICRC2013, Rio de Janeiro (Brazil).  
<http://arxiv.org/html/1307.2232v2>  
arXiv:1307.2232  
07/2013

Leto G., et al., for the ASTRI Collaboration  
"The Site of the ASTRI SST-2M Telescope Prototype: Atmospheric Monitoring and Auxiliary Instrumentation"  
In press  
Procs. AtmoHEAD, 10-12 June 2013, CEA Saclay, Paris (France)

Impiombato D., et al., for the ASTRI Collaboration  
"Evaluation of the optical cross talk level in the SiPMs adopted in ASTRI SST-2M Cherenkov Camera using EASIROC front-end electronics"  
Procs. 13th IPRD, 7-10 October 2013, Siena (Italy), in press - (arXiv:1312.0381)

Sironi G., et al., for the ASTRI Collaboration  
"Worthwhile optical method for free-form mirrors qualification"  
Procs. SPIE Optifab, 14-17 October 2013, Rochester, NY, (paper no. 8884-37)

Canestrari R., et al., for the ASTRI Collaboration  
"Shaping of thin glass foils for the fabrication of mirrors with pronounced asphericity"  
Procs. SPIE Optifab, 14-17 October 2013, Rochester, NY, (paper no. 8884-66)

De Caprio V., et al., for the ASTRI Collaboration  
"The ASTRI SST-2M Prototype: Camera Design"  
Procs. SPIE Optics+Photonics, 25-29 August 2013, San Diego, CA, (paper no. 8836-2)

Canestrari R., for the ASTRI Collaboration  
"The ASTRI SST-2M prototype for the next generation of Cherenkov telescopes: Structure and Mirrors"  
Procs. SPIE Optics+Photonics, 25-29 August 2013, San Diego, CA, (paper no. 8861-1)

Bonnoli G., et al., for the ASTRI Collaboration  
"Reflective and antireflective coatings for the optical chain of the ASTRI SST-2M prototype"  
Procs. SPIE Optics+Photonics, 25-29 August 2013, San Diego, CA, (paper no. 8861-61)

Canestrari R., for the ASTRI Collaboration  
"The ASTRI SST-2M Prototype: Structure and Mirror"  
Procs. 33rd ICRC2013, 2-9 July 2013, Rio de Janeiro (Brazil) - (arXiv:1307.4851)

Bonnoli G., et al., for the ASTRI Collaboration

|                 |    |  |
|-----------------|----|--|
|                 |    | <p>"Boosting the performance of the ASTRI SST-2M prototype: reflective and anti-reflective coatings"<br/>         Procs. 33rd ICRC2013, 2-9 July 2013, Rio de Janeiro (Brazil) - (arXiv:1307.5405)</p> <p>Catalano O., et al., for the ASTRI Collaboration<br/>         "The ASTRI SST-2M Prototype: Camera and Electronics"<br/>         Procs. 33rd ICRC2013, 2-9 July 2013, Rio de Janeiro (Brazil) - (arXiv:1307.5142)</p> <p>Maccarone M.C., et al., for the ASTRI Collaboration<br/>         "The Site of the ASTRI SST-2M Telescope Prototype"<br/>         Procs. 33rd ICRC2013, 2-9 July 2013, Rio de Janeiro (Brazil) - (arXiv:1307.5139)</p> <p>Antonelli L.A., et al., for the ASTRI Collaboration<br/>         "ASTRI SST-2M Data Handling and Archiving System"<br/>         Procs. 33rd ICRC2013, 2-9 July 2013, Rio de Janeiro (Brazil) - (arXiv:1307.7344)</p> <p>Strazzeri, E., et al., for the ASTRI Collaboration<br/>         "Calibration of the ASTRI SST-2M Prototype using Muon Ring Images"<br/>         Procs. 33rd ICRC2013, 2-9 July 2013, Rio de Janeiro (Brazil) - (arXiv:1307.5204)</p> <p>Tosti G., et al., for the ASTRI Collaboration<br/>         "The ASTRI Mini-Array Software System"<br/>         Procs. 33rd ICRC2013, 2-9 July 2013, Rio de Janeiro (Brazil) - (arXiv:1307.6847)</p> |
| <b>Depliant</b> | SI | <p>Brochure CTA<br/> <a href="http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/37222_cta_italian.pdf">http://www.giovannibignami.it/images/stories/pdf/37222_cta_italian.pdf</a></p>   |
| <b>CD-Rom</b>   | NO |  |
| <b>Altro</b>    | NO |  |

## Realizzazione/partecipazione a eventi

| Modalità  | Si/No | Descrizione   |
|---|-------|---|
| <b>Organizzazione di congressi</b>              | SI    | <p>B. De Lotto, A. De Angelis, M. Persic, N. Mankuzhiyil, organizzazione scuola IDPASC, Udine 2012</p> <p><a href="http://agenda.fisica.uniud.it/difa/conferenceDisplay.py?confId=60">http://agenda.fisica.uniud.it/difa/conferenceDisplay.py?confId=60</a></p> <p>De Angelis, co-organizzazione International Cosmic Ray Conference 2013, Rio de Janeiro</p>   |
| <b>Comunicazioni a congressi nazionali</b>      | SI    | <p>SIF:<br/>         "TeV gamma-ray astronomy and the project ASTRI/CTA"<br/>         La Palombara for the ASTRI Collaboration</p> <p>SAIT:<br/>         "CTA/ASTRI: stato, problemi, opportunita' "<br/>         Pareschi for the ASTRI Collaboration</p>  |
| <b>Comunicazioni a congressi internazionali</b> | SI    | <p>In ambito INAF, le attività svolte sono state presentate nei maggiori Congressi Internazionali del settore, quali SPIE, ICRC (vedasi la raccolta dei contributi disponibile al sito <a href="http://arxiv.org/html/1307.4639v1">http://arxiv.org/html/1307.4639v1</a>), COSPAR, HEAD/AAS, sia come contributi orali, sia come presentazioni a poster.</p> <p>Comunicazione a conferenze ICRC (International Cosmic Ray Research) e IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).</p> <p>Conference: COSPAR, Mysore, India (July 14-22, 2012)<br/>         Talk: The MAGIC universe of VHE gamma-rays<br/>         Speaker: Nijil Mankuzhiyil</p> |

|              |    |   |
|--------------|----|---|
| <b>Altro</b> | SI | <p>De Angelis: Seminario organizzato da astrofili Cougnes, Giugno 2013.</p> <p>De Angelis, Astrophysics Doctoral School, Asiago 2013<br/>Presentazione divulgativa su CTA, Sala comunale, Belluno 2013.</p> <p>Presentazione divulgativa su telescopi Cherenkov, Comunicare Fisica, Torino 2012.</p> <p>"Collaborazione alla organizzazione dei Meeting di Collaborazione ASTRI":</p> <p>2013<br/>Napoli (7th Meeting)<br/>Padova (6th Meeting)</p> <p>2012<br/>Milano (5th Meeting)<br/>Monte Porzio (4th Meeting)<br/>Catania (3rd Meeting)</p> |
|--------------|----|---|

### Divulgazione scientifica on-line

| Modalità                       | Si/No | Descrizione   |
|--------------------------------|-------|---|
| <b>Creazione di siti</b>       | NO    |   |
| <b>Creazione di pagine web</b> | SI    | <p>INAF-IASF Milano – Divulgazione:<br/><a href="http://www.iasf-milano.inaf.it/Divulgazione/divulgazione.php?pg=gamma_strum_ceren&amp;mn=gamma&amp;lin=gamma_strum_ceren">http://www.iasf-milano.inaf.it/Divulgazione/divulgazione.php?pg=gamma_strum_ceren&amp;mn=gamma&amp;lin=gamma_strum_ceren</a></p> <p>Sito Prof. Bignami – Pagina CTA:<br/><a href="http://www.giovannibignami.it/progetto-cta/cherenkov-telescope-array-2.html">http://www.giovannibignami.it/progetto-cta/cherenkov-telescope-array-2.html</a></p> <p>Per INAF/IASFPA:<br/><a href="http://www.iasf-palermo.inaf.it/cgi-bin/INAF/pub.cgi?href=activities/astri/index.html">http://www.iasf-palermo.inaf.it/cgi-bin/INAF/pub.cgi?href=activities/astri/index.html</a></p> <p>Pagina WEB in collaborazione con il Parco dell'Etna:<br/><a href="http://www.parcoetna.it/astrofisica.aspx">http://www.parcoetna.it/astrofisica.aspx</a></p> |
| <b>Altro</b>                   | NO    |   |

### Note

### Tabella riassuntiva delle spese sostenute per Unità Operativa

| n° | Responsabile Scientifico         | Spesa A.1.1 | Spesa A.1.2 | Spesa A.2.1 | Spesa A.2.2 | Spesa A.3 | Spesa A.4 | Spesa B    | Spesa C  | Spesa D | Spesa    |
|----|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|------------|----------|---------|----------|
| 1. | <b>BIGNAMI Giovanni Fabrizio</b> | 12.424,45   | 0           | 0           | 0           | 0         | 0         | 7.454,67   | 0        | 10.935  | 10.691,2 |
| 2. | <b>DE ANGELIS Alessandro</b>     | 16.034,59   | 0           | 0           | 0           | 0         | 17.999,96 | 20.420,73  | 692,05   | 0       | 2.807,9  |
| 3. | <b>PAOLETTI Riccardo</b>         | 9.920       | 0           | 0           | 0           | 0         | 22.946,02 | 19.719,612 | 0        | 0       | 2.398,2  |
| 4. | <b>SACCO Bruno</b>               | 54.671,82   | 0           | 0           | 0           | 0         | 35.781,49 | 54.271,986 | 7.616,43 | 0       | 30.271,6 |

|    |                           |                   |          |          |          |          |                   |                    |                 |               |                 |
|----|---------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|-------------------|--------------------|-----------------|---------------|-----------------|
| 5. | <b>MARIOTTI<br/>Mose'</b> | 24.987,89         | 0        | 0        | 0        | 0        | 24.730,17         | 29.830,836         | 0               | 0             | 3.748,9         |
|    | <b>Totale</b>             | <b>118.038,75</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>101.457,64</b> | <b>131.697,834</b> | <b>8.308,48</b> | <b>10.935</b> | <b>49.918,0</b> |

### Risorse umane complessivamente ed effettivamente impegnate

|   | <b>Mesi/persona<br/>TOTALE</b> |
|---|--------------------------------|
| <b>Personale DIPENDENTE a tempo indeterminato</b>   | 31,213                         |
| <b>Personale DIPENDENTE a tempo determinato</b>   | 4                              |
| <b>Personale non dipendente: solo personale con contratto attivato con<br/>l'Ateneo/ente cui afferisce l'unità di ricerca</b> | 23                             |
| <b>Personale non dipendente a carico esclusivo del progetto</b>   | 49                             |
| <b>Altro personale</b>  | 0                              |
| <b>Totale</b>   | <b>107,213</b>                 |

15/01/2014 13:07