



LONG TERM PLAN

PLANS AND PERSPECTIVES
FOR ITALIAN ASTROPHYSICS

INAF



ISTITUTO NAZIONALE DI ASTRONOMIA
NATIONAL INSTITUTE FOR ASTROPHYSICS

Cover image: artist's impression of a quasar located in a primeval galaxy a few hundred million years after the Big Bang - © ESA and Wolfram Freudling (ST-European Coordinating Facility/ESO).

LONG TERM PLAN

PLANS AND PERSPECTIVES
FOR ITALIAN ASTROPHYSICS

DECEMBER 2006



TABLES OF CONTENTS

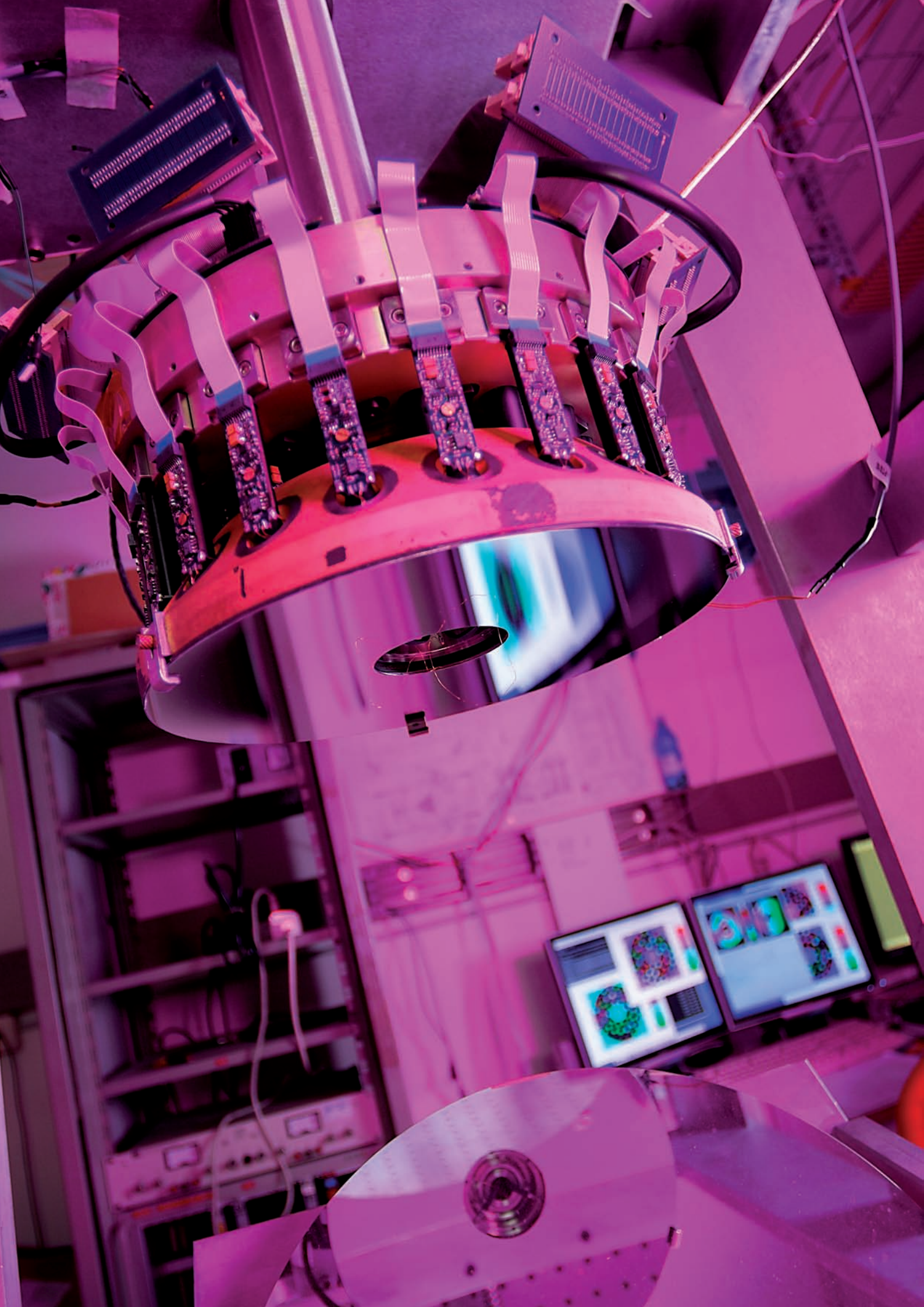
PREFAZIONE	13
PREFACE	17
PARTE 1: SOMMARIO ESECUTIVO	21
PART 1: EXECUTIVE SUMMARY	26
PART 2: MAJOR CHALLENGES IN ASTRONOMY OVER THE NEXT DECADE	31
INTRODUCTION: SUMMARY OF SCIENCE CASES	31
I. GEOMETRY AND FUNDAMENTAL NATURE OF THE UNIVERSE	31
II. THE FORMATION AND THE EVOLUTION OF THE STRUCTURE IN THE UNIVERSE	31
III. THE HISTORY OF THE GALAXY AND OF NEARBY GALAXIES	32
IV. THE BIRTH OF STARS IN THE NEARBY AND IN THE FAR UNIVERSE	33
V. THE LIFE CYCLE OF STARS	34
VI. SOLAR, INTERPLANETARY AND MAGNETOSPHERIC PHYSICS	35
VII. THE SOLAR SYSTEM	35
VIII. THE SEARCH FOR EXTRATERRESTRIAL PLANETS AND LIFE	36
IX. THE VIOLENT UNIVERSE	36
2.1 GEOMETRY AND FUNDAMENTAL NATURE OF THE UNIVERSE	38
2.1.1 TESTING INFLATION	39
2.1.2 THE NATURE OF DARK MATTER	40
2.1.3 THE ENIGMA OF DARK ENERGY	42
GEOMETRICAL TEST	43
DYNAMICAL TESTS	44
2.1.4 FUNDAMENTAL PHYSICS	45
2.2 THE FORMATION AND THE EVOLUTION OF THE STRUCTURE IN THE UNIVERSE	47
2.2.1 THE FIRST LUMINOUS OBJECTS IN THE UNIVERSE	48
2.2.2 BIRTH AND EVOLUTION OF GALAXIES AND SMBHS	49
2.2.3 THE FATE OF BARYONS	54
2.3 THE HISTORY OF THE GALAXY AND OF NEARBY GALAXIES	59
2.3.1 STELLAR POPULATIONS	59
2.3.2 STELLAR CLUSTERS	61
2.3.3 STAR FORMATION HISTORY AND CHEMICAL EVOLUTION OF LOCAL GALAXIES	63
CHEMICAL EVOLUTION OF THE MILKY WAY	63
CHEMICAL EVOLUTION OF EXTERNAL GALAXIES	64
2.4 THE BIRTH OF STARS IN THE NEARBY AND IN THE FAR UNIVERSE	66
2.4.1 INTERSTELLAR MEDIUM	66
2.4.2 STELLAR BIRTH	68
2.4.3 ACCRETION DISKS	69
2.4.4 THE FIRST STEPS TOWARD PLANETARY FORMATION	70
2.4.5 HIGH MASS STARS	71
2.4.6 FEEDBACK PROCESSES AND JETS	72



2.4.7	THE INITIAL MASS FUNCTION	72
2.4.8	FIRST STARS AND LOW METALLICITY ENVIRONMENTS	73
2.5	THE LIFE CYCLE OF STARS	75
2.5.1	LIFE ON THE MAIN SEQUENCE	75
2.5.2	THE OUTER STELLAR ATMOSPHERE	78
2.5.3	THE STRUCTURE OF THE SUN AND THE SUN AS A STAR	79
2.5.4	POST MAIN SEQUENCE EVOLUTION	80
2.5.5	PULSATING STARS	81
2.5.6	EXPLODING STARS AND THEIR REMNANTS	82
2.6	SOLAR, INTERPLANETARY AND MAGNETOSPHERIC PHYSICS	86
2.6.1	THE SUN AS A ROSETTA STONE	86
2.6.2	MAGNETIC FLUX EMERGENCE AND ORGANIZATION AT THE SOLAR SURFACE	87
2.6.3	GEATING OF THE SOLAR OUTER ATMOSPHERE, CORONAL EXPLOSIVE EVENTS AND OTHER PLASMA PHENOMENA	88
2.6.4	THE SOLAR WIND AND THE RELATED MECHANISMS OF ACCELERATION	90
2.6.5	THE SUN-EARTH AND THE SUN-PLANETS INTERACTIONS THE VARIABILITY OF SOLAR IRRADIANCE AND ITS EFFECT ON THE EARTH'S ENVIRONMENT	91
2.6.6	SPECTROSCOPIC DIAGNOSTICS AND ATOMIC PHYSICS	93
2.7	THE SOLAR SYSTEM	94
2.7.1	ORIGIN AND EVOLUTION OF PLANETS, SATELLITES AND MINOR BODIES	94
2.7.2	THE OUTER PLANETS	96
2.7.3	THE INNER PLANETS AND THE MOON	97
2.7.4	THE MINOR BODIES	99
2.8	THE SEARCH FOR EXTRATERRESTRIAL PLANETS AND LIFE	101
2.8.1	THE DISCOVERY	101
2.8.2	PLANET CHARACTERIZATION, HABITABILITY AND SEARCH FOR LIFE	104
2.8.3	ASTROBIOLOGY	104
2.8.4	MODELING EXTRASOLAR PLANETARY SYSTEMS	105
2.9	THE VIOLENT UNIVERSE	107
2.9.1	PROBING BLACK HOLES AND COMPACT OBJECTS BINARY COMPACT OBJECTS GRAVITATIONAL WAVES FROM BINARY COMPACT OBJECTS	107
2.9.2	MATTER UNDER EXTREME CONDITIONS	111
2.9.3	PHYSICS OF ACCRETION AND EJECTION	113
2.9.4	GAMMA RAY BURSTS: THE MOST POWERFUL COSMIC EXPLOSIONS AFTER THE BIG BANG	117
2.9.5	THE ORIGIN OF COSMIC RAYS	121

PART 3. MAJOR PROJECTS **127**

INTRODUCTION	127
3.1. ASSOCIATING HOT SCIENTIFIC QUESTIONS AND PROJECTS: THE "QUESTIONS/PROJECTS" MATRIX	128



3.1.1. GEOMETRY AND THE FUNDAMENTAL NATURE OF THE UNIVERSE	129
3.1.2. THE FORMATION AND EVOLUTION OF THE STRUCTURE IN THE UNIVERSE	131
3.1.3 THE HISTORY OF THE GALAXY AND OF NEARBY GALAXIES	133
3.1.4 THE BIRTH OF STARS IN THE NEARBY AND IN THE FAR UNIVERSE	135
3.1.5 THE LIFE CYCLE OF STARS	137
3.1.6 SOLAR, INTERPLANETARY AND MAGNETOSPHERIC PHYSICS	139
3.1.7 THE SOLAR SYSTEM	141
3.1.8 THE SEARCH FOR EXTRATERRESTRIAL PLANETS AND LIFE	141
3.1.9 THE VIOLENT UNIVERSE	143
3.2 SPECIFIC PROJECTS	145
3.2.1 ONGOING PROJECTS	145
3.2.2 PROJECTS IN PREPARATION	154
3.2.3 FUTURE PROJECTS	165

PART 4: INAF TODAY 175

INTRODUCTION	175
4.1 ORGANIZATION	175
4.2 RESEARCH STRUCTURES AND PERSONNEL	175
4.2.1 RESEARCH ACTIVITIES	178
4.3 OBSERVING FACILITIES	179
4.4 ACCESS TO MAJOR INTERNATIONAL FACILITIES	180
4.5 FUNDING	182
4.6 SCIENTIFIC PRODUCTION	183
4.7 EDUCATION	184
4.8 OTHER ACTIVITIES	185

PART 5: ENABLING TECHNOLOGIES 187

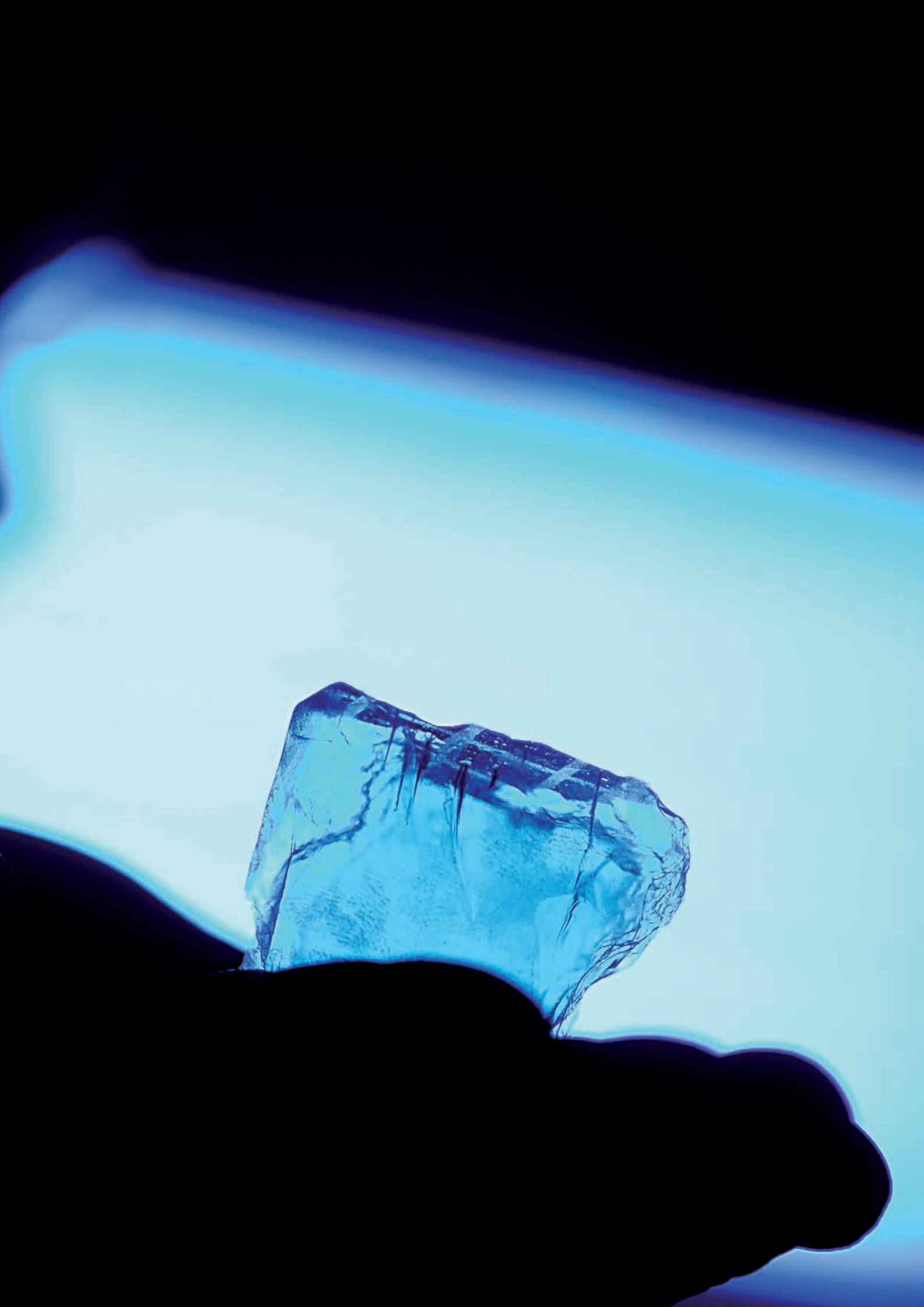
INTRODUCTION	187
5.1 RADIO/MICROWAVES FROM METER TO SUB-MILLIMETER WAVELENGTHS	188
5.1.1 COHERENT RECEIVERS	189
5.1.2 BOLOMETERS	190
5.1.3 OPTICS AND PASSIVE COMPONENTS	191
5.1.4 CRYOGENICS	192
5.1.5 BACKEND ELECTRONICS	192
5.2 GROUND BASED OPTICAL NEAR IR TECHNOLOGIES	193
5.2.1 ADAPTIVE OPTICS	193
5.2.2 OPTICAL DETECTORS	194
5.2.3 NIR DETECTORS	195
5.2.4 IR SPECTROSCOPY	196
5.2.5 INTERFEROMETRY	196
5.3 UV	196
5.3.1 OPTICS AND OPTICAL COMPONENTS	196
5.3.2 DETECTORS	197
5.4 X-RAY	197



5.4.1 OPTICS	197
5.4.2 DETECTORS	199
5.5 VHE GAMMA RAYS	201
5.6 COSMIC RAYS	201
5.7 TECHNOLOGIES FOR THE PLANETARY SYSTEM	202
5.7.1 GROUND BASED	202
5.7.2 REMOTE SENSING FROM AN ORBITING OR FLYING-BY SPACECRAFT	203
5.7.3 IN SITU INSTRUMENTATION	203
PASSIVE COLLECTORS FOR SAMPLE RETURN	204
PLANETARY RADIATION ANALYSIS	205
5.8 TECHNOLOGIES FOR THE SUN AND INTERPLANETARY PLASMA	206
5.8.1 GROUND BASED OPTICAL AND NEAR IR SOLAR TELESCOPES	206
5.8.2 SPACE REMOTE-SENSING AND IN-SITU INSTRUMENTS	206
5.9 TRANSVERSAL TECHNOLOGIES	207
5.9.1 VLSI ELECTRONICS	207
5.9.2 TIME DEFINITION AND DISTRIBUTION	207
5.9.3 CRYOGENICS	208
5.9.4 LIGHT MIRRORS	208
5.9.5 SHAPING CONTROL AND METROLOGY	208
5.9.6 COMPUTER SCIENCE	209
CONTROL SYSTEMS	210

PART 6: A STRATEGIC VIEW **211**

INTRODUCTION	211
6.1 BASIC PRIORITIES	212
6.2 ROAD-MAPS	216
6.2.1 EARLY UNIVERSE	216
6.2.2 MID AND FAR INFRARED ASTRONOMY	217
6.2.3 OPTICAL AND NEAR INFRARED ASTRONOMY	217
6.2.4 UV ASTRONOMY	220
6.2.5 RADIO AND SUB-MILLIMETER ASTRONOMY	220
6.2.6 X-RAY ASTRONOMY	223
6.2.7 GAMMA RAY ASTRONOMY AND COSMIC RAYS	224
6.2.8 PLANETARY SCIENCE	225
6.2.9 SOLAR PHYSICS	226
6.2.10 GRAVITATIONAL WAVES	226
6.2.11 HIGH PERFORMANCE COMPUTING	226
6.3 SUMMARY OF PRIORITIES	227
6.3.1 RECOMMENDATIONS OF TOP PRIORITY PROJECTS	227
6.3.2 RECOMMENDATIONS FOR VERY IMPORTANT PROJECTS	228
PROJECTS REQUIRING HIGH LEVEL OF FUNDING FROM INAF	228
PROJECTS REQUIRING A MEDIUM LEVEL OF FUNDING FOR INAF	229
PROJECTS REQUIRING A RELATIVELY LOW LEVEL OF FUNDING FROM INAF	229
6.3.3 RECOMMENDATIONS FOR OTHER PROJECTS	230



PREFAZIONE

L'astrofisica moderna è un settore di ricerca in straordinaria evoluzione. Questa evoluzione è governata sia dalla disponibilità di tecnologie sofisticate che dallo sviluppo di nuovi strumenti concettuali, entrambe settori a cui i ricercatori italiani hanno dato e danno un contributo significativo. Nei prossimi anni ci attendono altre e più entusiasmanti scoperte, grazie all'entrata in funzione di nuovi strumenti da terra e dallo spazio, strumenti che ci forniranno una visione molto più profonda e dettagliata dell'Universo in cui viviamo.

Come sempre accaduto nella storia millenaria dell'astronomia, le nuove scoperte influenzeranno sia le scienze collegate, quali la fisica fondamentale, la bio-astrofisica, la climatologia, che la nostra visione del mondo, arrivando a un livello di penetrazione nel pensiero comune caratteristico di poche altre discipline.

Per le sue caratteristiche di universalità e di scienza di base l'astrofisica gode di uno straordinario livello di internazionalizzazione. Gli strumenti più sofisticati richiedono l'impegno congiunto di molte nazioni, i gruppi ricerca sono sempre più internazionali ed i risultati delle ricerche sono prontamente accessibili attraverso il WEB a tutta la comunità.

In questo contesto, per poter ottimizzare le limitate risorse da destinare alla ricerca astrofisica e massimizzarne l'impatto, è fondamentale che la comunità astronomica italiana sviluppi una visione unificata dell'astrofisica, ne individui la possibile evoluzione nei prossimi anni, ed elabori le proprie priorità.

Partendo da questa esigenza l'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), che ha come compito istituzionale quello di promuovere, realizzare e coordinare l'attività di ricerca nel campo dell'astrofisica in collaborazione con le Università che con altri soggetti pubblici e privati, nazionali e internazionali, ha elaborato il suo primo Piano di Lungo Termine (PLT).

L'elaborazione di questo piano è stata affidata, secondo il Regolamento di Organizzazione e Funzionamento dell'INAF, al Consiglio Scientifico che ne ha curato la redazione tra il maggio 2005 e l'ottobre 2006 e ne detiene l'esclusiva responsabilità. Il Consiglio Scientifico dell'INAF è composto da 12 scienziati appartenenti all'INAF, all'Università e ad Enti di Ricerca internazionali, attivi in vari campi dell'astrofisica, in parte eletti dalla comunità e in parte nominati dal Consiglio di Amministrazione e dal Presidente del-

l'INAF.

La struttura del PLT è nata da un'analisi attenta degli analoghi piani strategici preparati da istituzioni nazionali e internazionali, tra cui la Decadal Survey dalla N.S.F. degli Stati Uniti ed il piano Origins della NASA, il NRC-NSERC Long Range Plan canadese, il PPARC Strategic Plan inglese, quello olandese di NCA-NOVA-NWO e quelli preparati dalla European Science Foundation, dall'ESO, dalla European Astronomical Society e dall'ESA (Cosmic Vision). Sono stati anche recepiti i contenuti di recenti documenti preparati dalla comunità astronomica italiana in risposta a richieste di studi di da parte dell'Agenzia Spaziale Italiana (2003-2004).

Nel febbraio '06 il CS ha presentato al CdA dell'INAF la struttura del PLT e una prima ricognizione delle problematiche scientifiche e delle priorità identificate. In seguito, ha approfondito una serie di temi mediante incontri con gli scienziati italiani che, per la loro responsabilità in progetti scientifici o per la loro attività scientifica generale, sono stati considerati rappresentativi per questi temi o delle comunità estese.

Dopo aver terminato una prima stesura del PLT, il CS ha presentato e distribuito una prima versione alla comunità italiana nel maggio 2006, tramite incontri con i Direttori delle Strutture di ricerca ed i rappresentanti delle Macro-Aree tematiche, che rappresentano gli astronomi italiani secondo aree scientificamente omogenee.

L'insieme dei commenti ricevuti ha portato ad un ulteriore raffinamento del testo, che è stato definitivamente approvato dal Consiglio Scientifico il 5 ottobre 2006 ed adottato dal Consiglio di Amministrazione il 10 ottobre 2006.

Il PLT è organizzato in 6 Parti. La Parte 1 ("Executive summary") riassume le principali raccomandazioni e priorità indicate dal Piano. La Parte 2 presenta una rassegna delle principali sfide scientifiche che ci attendono e che saranno presumibilmente l'oggetto principale della ricerca astrofisica del prossimo decennio. Questa parte discute anche se questi temi di primo piano possano essere affrontati con la strumentazione attuale o necessitino piuttosto dello sviluppo di nuova e più sofisticata strumentazione. La Parte 3 illustra in dettaglio i progetti strumentali esistenti, o in preparazione, che sono considerati ad alta priorità per la comunità italiana, perché in grado di incidere significativamente sulle nostre conoscenze. La Parte 4 descrive l'organizzazione, le strutture di ricerca e l'attività dell'INAF attuale, mentre la Parte 5 analizza le innovazioni tecnologiche che potrebbero permettere l'avvio di progetti e strumentazione innovativi. Il risultato globale di tutta questa analisi è condensato nella Parte 6 sotto forma di road-maps e racco-

mandazioni organizzate secondo livelli di priorità che ispireranno le scelte e le azioni future dell'INAF. Le road-maps sono proposte e discusse per ogni area strategica su base temporale (progetti in corso, preparazione e nuovi) e di priorità. Queste ultime sono assegnate sulla base dell'importanza scientifica del progetto, del livello di coinvolgimento italiano, del livello di risorse INAF dedicate al progetto, del contesto internazionale (e perciò dell'unicità e della competitività del progetto), e della qualità dei partner internazionali.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro non sarebbe stato possibile senza l'aiuto, i suggerimenti, il contributo e gli incoraggiamenti di un gran numero di membri della comunità scientifica italiana. In primis desideriamo ringraziare per il loro contributo fondamentale alla prima stesura del PLT Nicola Vittorio (Univ. Tor Vergata) e Fabio Favata (ESA), che sono stati membri del Consiglio Scientifico fino al maggio 2006.

Inoltre ringraziamo i seguenti colleghi per i loro consigli e commenti:

Luca Amendola, Ester Antonucci, Bruno Bavassano, Francesco Berilli, Daniela Bettoni, Giuseppe Bono, Jan Brand, Gianfranco Brunetti, Roberto Bruno, Maurizio Candidi, Fabrizio Capaccioni, Enrico Cappellaro, Vincenzo Carbone, Maria Bice Cattaneo, Gianna Cauzzi, Fabio Cavallini, Alberto Cellino, Claudio Chiuderi, Andrea Cimatti, Andrea Comastri, Giovanni Comoretto, Angioletta Coradini, Stefano Cristiani, Nichi D'amico, Domitilla De Martino, Silvano Desidera, Ilaria Ermolli, Jacopo Farinato, Luigina Feretti, Patrizia Francia, Emanuele Giallongo, Paola Grandi, Raffaele Gratton, Laura Greggio, Loretta Gregorini, Francesco Haardt, Hugh Hudson, Francesco Leone, Marco Limongi, Dario Lorenzetti, Dario Maccagni, Piero Madau, Francesco Malara, Franco Mantovani, Laura Maraschi, Silvia Masi, Giorgio Matt, Francesca Matteucci, Nicola Menci, Carlo Morello, Stefano Orsini, Isabella Pagano, Giovanni Pareschi, Fabio Pasian, Giampaolo Piotto, Luigi Piro, Isabella Prandoni, Roberto Ragazzoni, Maria Sofia Randich, Fabio Reale, Kevin Reardon, Alvio Renzini, Paolo Salucci, Marco Salvati, Roberto Scaramella, Salvo Sciortino, Giuseppe Severino, Daniele Spadaro, Sperello di Serego Alighieri, Luigi Spinoglio, Luigi Stella, Marisa Storini, Thomas Strauss, Gianni Strazzulla, Gianni Tofani, Amedeo Tornambè, Monica Tosi, Edoardo Trussoni, Pietro Ubertini, Rita Ventura, Andrea Zacchei, Gianni Zamorani, Gaetano Zimbardo.

Ringraziamo infine l'Ufficio Comunicazione e Immagine INAF, in particolare Caterina Boccato, per il paziente lavoro nella correzione delle bozze e nella realizzazione grafica di questo documento.

IL CONSIGLIO SCIENTIFICO INAF.

Magda Arnaboldi, Angela Bazzano, Piero Benvenuti, Marco Bersanelli, Armando Blanco, Pasquale Blasi, Enrico Costa, Fabrizio Fiore, Adriano Fontana, Giovanni Peres, Leonardo Testi, Massimo Turatto, Giovanni Valsecchi.

PREFACE

Modern astrophysics is rapidly evolving. This evolution is driven by the availability of sophisticated technologies and by the development of new conceptual instruments. Italian researchers are giving a significant contribution to both areas. In the next years new exciting discoveries will be produced by the instrumentation today in preparation. These new ground-based and space-borne instrumentation will provide a much deeper and detailed view of the Universe.

The new discoveries will most likely have a big influence on other research branches, like fundamental physics, bio-astronomy, climatology, and, more in general, on our view of the world.

Because of its characteristics of universality and of fundamental science, astrophysics is a highly international enterprise. The most sophisticated instruments require the common effort of many countries, and, accordingly, the research groups often include scientists working worldwide.

The results of the researches are promptly distributed through the World Wide Web to the scientific community.

To optimize the exploitation of the limited resources dedicated to astrophysics it is imperative that the Italian community develops a unified vision of astrophysics, identifies its likely evolution and sets priorities.

To this purpose, the Istituto Nazionale di AstroFisica (INAF), which has the duty of promoting and coordinating the astrophysical research activities, in collaboration with the Universities and other national and international Institutes, has elaborated its first Long Term Plan (LTP).

The preparation of this plan has been assigned to the INAF Scientific Council (CS), according to the INAF regulations. The CS is composed by twelve astrophysicists from INAF, Italian Universities and international research institutes. The CS drafted the LTP between May 2005 and October 2006 and holds full responsibility for all statements, recommendations and conclusions included in this document.

The LTP structure follows that of similar plans prepared by other international institutions like the United States N.S.F. Decadal Sur-

vey, the NASA Origins plan, the Canada NRC-NSERC Long Range Plan, the UK PPARC Strategic Plan, the Dutch NCA-NOVA-NWO plan e the long term plans prepared by the European Science Foundation, by ESO, by the European Astronomical Society and by ESA (Cosmic Vision). The strategic indications included in three studies committed by ASI and performed by the Italian astrophysical community during the years 2003-2004 have also been considered.

The CS presented a first draft of the LTP to the INAF “Consiglio di Amministrazione” during February 2006. In the following months the CS finalized the documents also through a series of meetings with leading Italian scientists who have prime responsibilities in specific scientific projects.

The first complete version of the LTP has been presented to the Italian community during May 2006, through a series of meetings with the Directors of the Italian Observatories and Institutes and the representatives of the thematic “Macro-Aree”.

Comments from these large boards have been included in the final version of the LTP presented to the CdA on 2006 October 5th. The CdA approved the document on 2006 October 10th.

This LTP is organized in 6 Parts. Part 1 is the Executive Summary and reports the main recommendations and priorities included in the Plan. Part 2 presents an overview the major open astrophysics topics, which are most likely to focus researches’ efforts in the next decade, and whether they can be investigated either with current or future instrumentation. Part 3 includes a detailed presentation of those projects considered as high priority for prospective important breakthrough. Part 4 presents the organization, the structures and the main scientific activities of INAF. Part 5 analyzes the technical innovations that may enable the undertaking of new projects and instrumentation.

The final result of this detailed analysis is given in Part 6 in the form of road-maps and sets of priorities which INAF should take into account in its future actions. The road-maps have been proposed and discussed for each strategic research area, based on the timeframe (on going projects; projects in preparation; new projects) and priorities. Priorities were assigned according to the scientific relevance of the project, the level of national and INAF involvement, the level of INAF internal resources committed to

the project, the international context (and therefore the level of uniqueness and competition of the project), and the quality of the international partners.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work would not have been possible without the help, the contributions and the advice of a large number of Italian scientists. First, we would like to acknowledge the fundamental contributions provided by Fabio Favata (ESA) and Nicola Vittorio (University of Roma II), former members of the CS, to the preparation of the first complete version of the LTP.

The following colleagues also contributed with specific comments, suggestions and discussions:

Luca Amendola, Ester Antonucci, Bruno Bavassano, Francesco Berilli, Daniela Bettoni, Giuseppe Bono, Jan Brand, Gianfranco Brunetti, Roberto Bruno, Maurizio Candidi, Fabrizio Capaccioni, Enrico Cappellaro, Vincenzo Carbone, Maria Bice Cattaneo, Gianna Cauzzi, Fabio Cavallini, Alberto Cellino, Claudio Chiuderi, Andrea Cimatti, Andrea Comastri, Giovanni Comoretto, Angioletta Coradini, Stefano Cristiani, Nichi D'amico, Domitilla De Martino, Silvano Desidera, Ilaria Ermolli, Jacopo Farinato, Luigina Feretti, Patrizia Francia, Emanuele Giallongo, Paola Grandi, Raffaele Gratton, Laura Greggio, Loretta Gregorini, Francesco Haardt, Hugh Hudson, Francesco Leone, Marco Limongi, Dario Lorenzetti, Dario Maccagni, Piero Madau, Francesco Malara, Franco Mantovani, Laura Maraschi, Silvia Masi, Giorgio Matt, Francesca Matteucci, Nicola Menci, Carlo Morello, Stefano Orsini, Isabella Pagano, Giovanni Pareschi, Fabio Pasian, Giampaolo Piotto, Luigi Piro, Isabella Prandoni, Roberto Ragazzoni, Maria Sofia Randich, Fabio Reale, Kevin Reardon, Alvio Renzini, Paolo Salucci, Marco Salvati, Roberto Scaramella, Salvo Sciortino, Giuseppe Severino, Daniele Spadaro, Sperello di Serego Alighieri, Luigi Spinoglio, Luigi Stella, Marisa Storini, Thomas Strauss, Gianni Strazzulla, Gianni Tofani, Amedeo Tornambè, Monica Tosi, Edoardo Trussoni, Pietro Ubertini, Rita Ventura, Andrea Zacchei, Gianni Zamorani, Gaetano Zimbardo.

We finally thank the INAF Public Relations and Communication Office, especially Caterina Boccato, for proof reading and editorial support.

THE INAF SCIENTIFIC COUNCIL

Magda Arnaboldi, Angela Bazzano, Piero Benvenuti, Marco Bersanelli, Armando Blanco, Pasquale Blasi, Enrico Costa, Fabrizio Fiore, Adriano Fontana, Giovanni Peres, Leonardo Testi, Massimo Turatto, Giovanni Valsecchi.

PARTE 1: SOMMARIO ESECUTIVO

L'astrofisica è una delle principali branche della fisica fondamentale, in quanto il suo scopo è quello di descrivere l'Universo, la sua origine ed i suoi componenti in termini di leggi della fisica, e di verificare le teorie fisiche in quei laboratori privilegiati che sono gli oggetti astronomici, nei quali le condizioni sono estremamente distanti e molto più probanti di quelle che si possono avere sulla Terra.

Nell'ultimo decennio le conoscenze astrofisiche sono cresciute esponenzialmente e, come accade sovente nella scienza, nuove scoperte hanno portato a domande nuove e legate a problemi più profondi. Dagli esperimenti sul Cosmic Microwave Background (CMB, fondo cosmico a microonde) e dalle campagne osservative dello telescopio spaziale Hubble abbiamo appreso che l'Universo sta accelerando la sua espansione, e che oltre il 90% di esso è costituito da due elementi misteriosi, la cosiddetta "Dark Energy" (energia oscura), che ne determina l'accelerazione, e la "Dark Matter" (materia oscura), che è responsabile dell'attrazione gravitazionale che governa il moto delle sue componenti luminose, quali stelle e gas.

Galassie e buchi neri supermassicci sono stati osservati a distanze superiori a 12.5 miliardi di anni luce, corrispondenti all'incirca ad appena 800 milioni di anni dopo il Big Bang: come queste strutture si siano aggregate è ancora poco chiaro. Si sono studiate le esplosioni più energetiche della storia dell'Universo, i cosiddetti Gamma Ray Bursts, o lampi gamma: nonostante questi fenomeni siano tuttora mal compresi, forniscono tuttavia un promettente strumento di esplorazione delle leggi fondamentali della fisica. Si sono osservati raggi cosmici di energie straordinariamente superiori a quelle ottenibili nei più potenti acceleratori terrestri, la cui natura è tuttora sconosciuta. Sono stati scoperte centinaia di pianeti intorno a stelle vicine al Sole, senza però trovarne ancora alcuno simile alla Terra, e, soprattutto, senza trovare alcuna prova di vita extraterrestre.

La nostra comprensione della formazione delle stelle e dei pianeti e dello sviluppo delle condizioni necessarie alla vita sulla Terra (e sui pianeti extrasolari simili al nostro) è tuttora estremamente limitata. L'esplorazione del nostro stesso sistema solare ha solo cominciato a svelare quanto complesso ed eterogeneo sia il processo di formazione planetaria. Lo studio della nostra stella, il Sole, si è

rivelato fondamentale per capire sia le proprietà fisiche delle stelle in generale che la sua influenza sul clima e l'ambiente della Terra.

Questi non sono altro che alcuni esempi dei problemi aperti che verranno affrontati nel prossimo decennio, e che rappresentano il nucleo della ricerca astrofisica descritta in questo Piano di Lungo Termine.

Negli ultimi decenni l'astrofisica italiana ha raggiunto posizioni di vertice, divenendo una delle comunità di riferimento a livello internazionale in vari campi osservativi e teorici quali, ad esempio, la cosmologia CMB, l'astronomia X, Gamma e di raggi cosmici, la cosmologia osservativa, la formazione ed evoluzione stellare e planetaria, l'esplorazione del Sole e del sistema solare. Inoltre, l'Italia è stata molto attiva nella progettazione e costruzione di grandi infrastrutture sia terrestri sia spaziali. Per questo motivo, gli astronomi italiani si trovano in una situazione che può permettere loro di avere un ruolo di punta nelle ricerche più importanti del prossimo decennio.

Lo scopo di questo documento è l'identificazione delle aree scientifiche e tecnologiche nelle quali l'Istituto Nazionale di AstroFisica (INAF) dovrebbe concentrare sforzi e risorse, in modo da permettere ai ricercatori italiani di mantenere posizioni di vertice nel prossimo decennio. A questo scopo, il documento presenta un'unica visione globale degli argomenti principali dell'astronomia e dell'astrofisica del prossimo decennio. Si intende che questo Piano di Lungo Termine dovrebbe essere periodicamente rivisto ed aggiornato al fine di includere progetti ed idee innovative.

Questo documento non contiene piani operativi, né discute come si debbano dedicare risorse a specifiche attività: piuttosto, esso identifica le condizioni necessarie a mantenere un ruolo di primo piano. A questo scopo occorre garantire: i) accesso a strutture osservative d'avanguardia; ii) un livello almeno costante nel numero e nella qualità degli astrofisici che lavorano in Italia; iii) finanziamenti adeguati per la ricerca libera e per lo sviluppo di strumentazione innovativa. E' estremamente difficile che le risorse attualmente disponibili per l'astronomia e l'astrofisica in Italia permettano di soddisfare questi requisiti; in particolare, esse non permetteranno alla comunità scientifica italiana di partecipare ad importanti grandi iniziative in corso di sviluppo sia a livello europeo che mondiale. In questa situazione, è indispensabile fissare delle priorità.

Sulla base di questa impostazione, e dopo una approfondita ana-

lisi delle problematiche scientifiche più importanti, e degli sviluppi strumentali e teorici attesi, si formulano pertanto le seguenti raccomandazioni:

- La ricerca libera, sia osservativa che teorica, è una risorsa strategica e deve essere incoraggiata come attività prioritaria.
- Il livello scientifico è il criterio più importante per lo sviluppo di nuovi progetti.
- Va incoraggiata l'organizzazione di grandi collaborazioni e grandi programmi, incluse grandi "surveys" (campagne osservative) e ricerche teoriche dedicate.
- Non si devono iniziare o portare avanti nuove grandi infrastrutture tecnologiche se questo avviene a spese dell'adeguato supporto alle attuali attività scientifiche di punta dell'INAF.
- Il ruolo dell'INAF all'interno di organizzazioni internazionali quali l'ESO e l'ESA deve essere più attivo ed incisivo.
- Le proposte di nuovi progetti, strumentazioni ed infrastrutture osservative devono essere in ogni caso selezionate attraverso un processo bottom-up, partendo dalla loro rilevanza scientifica.
- Occorre coordinare le strategie con le università italiane, attraverso la stipula di accordi formali, allo scopo di creare una comunità astrofisica nazionale coesa, che integri in profondità l'attività di ricerca con quella didattica di alto livello, e permetta un'adeguata mobilità del personale fra l'INAF e le università.
- La collaborazione ed il coordinamento su progetti comuni con altri istituti di ricerca italiani dovrebbero anch'essi essere rafforzati.

L'acquisizione di un ruolo di preminenza nelle più importanti infrastrutture internazionali, capaci di portare a risultati rivoluzionari, è da considerarsi come una priorità assoluta. L'INAF dovrebbe, perciò, sostenere il coinvolgimento tecnologico in un certo numero di progetti chiave previsti per il prossimo decennio e per quelli successivi. Qui di seguito sono riassunti sinteticamente questi progetti chiave, con le relative raccomandazioni per il coinvolgimento italiano.

- L'accesso della comunità italiana alle principali infrastrutture internazionali presenti e future, aventi un significativo contributo italiano, deve essere garantito e, se possibile, aumentato attraverso iniziative dedicate. La lista di queste infrastrutture comprende **VLT, XMM, SOHO, Herschel, GLAST, Auger**. E' inoltre auspicabile l'aumento dell'accesso italiano ad altre importan-

ti infrastrutture internazionali nelle quali siamo poco coinvolti, quali **HST, Chandra e Spitzer ed in futuro JWST**.

- Occorre sviluppare strumentazione innovativa, a guida italiana, per grandi telescopi da terra, ed in particolare occorre agire per mantenere la strumentazione di VLT al massimo livello e sostenere attivamente lo sviluppo delle prossime generazioni di strumenti.
- Va preparata la comunità nazionale allo sfruttamento scientifico delle prossime grandi imprese ESO ed ESA quali **ALMA e GAIA**.
- Si deve partecipare allo sviluppo delle prossime grandi infrastrutture come **ESO-ELT, SKA**, osservatori ad alta sensibilità sia negli **X molli che negli X duri**, a condizione che sia garantita una partecipazione rilevante della comunità alla strumentazione e/o allo sfruttamento scientifico dei dati.
- Va adeguatamente sostenuta la comunità coinvolta in **Mars-Express, Venus-Express e ROSETTA** e la preparazione di **BepiColombo ed ExoMars**.
- Per gli studi sulle fasi iniziali dell'universo, l'INAF deve garantire il pieno sfruttamento scientifico dei dati di **Planck** ed il mantenimento del ruolo di punta negli **esperimenti suborbitali di CMB**, anche in preparazione alla partecipazione ad una missione dedicata alla rivelazione della **polarizzazione B del CMB**.

L'INAF ha ereditato quattro grandi progetti tecnologici (TNG, LBT, VST e SRT), tutti nati in contesti (scientifici e politici) drasticamente diversi dalla situazione attuale. LBT, SRT e VST si basavano su finanziamenti dedicati di fatti insufficienti per il loro completamento, e in mancanza di piani di finanziamento adeguati per le loro operazioni e per lo sfruttamento scientifico. Ci si aspetta che LBT, SRT e VST diano luogo ad alti ritorni scientifici per la comunità nazionale, benché da un lato essi richiedano investimenti consistenti per essere completati, e dall'altro il loro pieno sfruttamento sia ancora soggetto ad una quota significativa di rischio.

Per questi progetti si suggeriscono le azioni seguenti:

- Sebbene il completamento di queste infrastrutture non sia qui messo in discussione, esso non deve aver luogo a scapito delle attività scientifiche attuali dell'INAF;
- Il supporto al futuro sfruttamento di questi osservatori, e lo sviluppo di nuova strumentazione, devono essere messi in competizione con tutti gli altri progetti dell'INAF.

Le priorità principali per questi progetti sono:

- Sostenere le operazioni di **LBT** per facilitare l'accesso della comunità italiana e per lo sfruttamento ottimale delle sue capacità scientifiche. **LBC** deve essere sfruttata a pieno attraverso grandi campagne osservative dedicate;
- Ad un livello di priorità più basso, **TNG** dovrebbe essere reso più competitivo attraverso un uso finalizzato a progetti specifici;
- Prendere provvedimenti efficaci ad assicurare il rapido completamento di **VST**. Sostenere l'uso attraverso grandi campagne osservative, a seguito di un riesame critico e di un aggiornamento dei programmi scientifici, con il coinvolgimento di tutta la comunità italiana;
- In campo radioastronomico, **SRT** è la prima priorità a corto e medio termine, fatta eccezione per ALMA, purché sia prima dimostrata la sua capacità di raggiungere con buoni livelli di efficienza frequenze di 40-100 GHz.

Altri progetti importanti richiedono livelli di investimento INAF medio o basso (centinaia di kEuro/anno o meno), ma hanno potenzialmente un grande impatto sulla comunità. Questi progetti includono:

- Strumentazione per immagini e spettroscopia a grande campo da terra e dallo spazio; interferometria nel vicino infrarosso al VLT ed all'LBT (VLTi, Link-Nirvana) e, in futuro, dallo spazio; SPICA;
- Swift, INTEGRAL ed il suo eventuale successore, missioni X dedicate (polarimetria e spettroscopia ad alta risoluzione); AGILE; telescopi Cherenkov come HESS, MAGIC e CTA; la prossima generazione di esperimenti di raggi cosmici;
- Cassini, una nuova missione al sistema gioviano e l'esplorazione in situ di un NEO;
- Solar Orbiter ed un grande telescopio solare basato a terra.

PART 1: EXECUTIVE SUMMARY

Astrophysics is a major branch of fundamental physics. Its ultimate goals are to understand the origin and the constituents of the Universe in terms of the laws of Physics, and to test both new and conventional physics in privileged laboratories that provide conditions far more extreme than those available on Earth.

During the last 10 years, the fund of astrophysical knowledge has experienced an exponential growth and, as usually happens in science, the new discoveries have spawned new, more intriguing and still more crucial questions. We know now, from the Cosmic Microwave Background (CMB) experiments and from the Hubble Space Telescope (HST) deep surveys, that the Universe is accelerating its expansion due to the existence of the so-called 'Dark Energy', and that 'Dark Matter' is responsible for the majority of the gravitational pull that drives the motions of its luminous components: the gas and the stars.

Galaxies and accreting super-massive Black Holes have been detected at distances of more than 12.5 billion light-years, corresponding to epochs a mere 800 million years after the Big Bang. How these massive structures were assembled is still unclear. The most energetic explosions in the history of the Universe, the so-called 'Gamma Ray Bursts', have been extensively studied. While they remain puzzling phenomena, they represent a most promising tool to explore the fundamental laws of physics. Cosmic rays with energies exceeding the ones achievable in terrestrial accelerators have been detected, although their origins and acceleration mechanisms remain unknown. Hundreds of planets have been discovered around nearby stars, but we have not yet detected any Earth-like planets, nor have we gathered evidence for extraterrestrial life.

Our understanding of the formation of stars and planetary systems as well as of the development of the conditions required for the appearance of Life on Earth (and possibly Earth-like exoplanets) is still very limited. The exploration of our own solar system has only begun to reveal how complex and heterogeneous the process of planet formation is. The study of our star, the Sun, is of fundamental importance for the understanding of the physical properties of Stars in general and for its influence on the Earth's climate and environment.

These are a few examples of the open questions that will be central for astrophysical investigation in the next decade and they represent the core of the astrophysical research described in this long-term plan.

Over the last few decades, Italy has gained a top-level position in astrophysical research, holding the leadership in a number of observational and theoretical topics, for example CMB cosmological studies, X-ray, gamma-ray and cosmic-ray astronomy, observational cosmology, formation and evolution of stars and planetary systems, and the exploration of the Sun and of the solar system. Furthermore, Italy has been very active in planning and building major observing infrastructures, both on the ground and in space. Italian astronomers are therefore in a position that will allow them to play a leading role in the areas of research that are anticipated to be in the forefront of physics during the next decade.

This document is aimed at identifying the scientific and technological areas where INAF should focus its efforts and resources so that Italian researchers can retain their leading position during the next decade. To this purpose, this document presents a unified vision of the main topics in astronomy and astrophysics in the foreseeable future. The intention is to periodically revise and update it to include innovative new projects and ideas.

The document does not contain an operational plan nor does it discuss how resources should be allocated to specific activities. However, the minimum necessary conditions for keeping such leadership are identified in: i) ensuring the access to the state-of-the-art observing infrastructures; ii) keeping at least at constant level the number and quality of the astrophysicists working in Italy; iii) providing adequate funding for free research and development into new cutting-edge instrumentation. The present level of resources available for astronomy and astrophysics in Italy will barely allow the fulfillment all these requirements. In particular, it will not allow the Italian scientific community to play a leading role in all the important large enterprises under development both in Europe and worldwide. In such a situation, it is mandatory to set priorities and formulate recommendations. These are listed below:

- Fundamental research, both observational and theoretical, is a strategic resource that must be encouraged as a high priority activity.
- Scientific priority is the most important criterion for selecting

new projects.

- The organization of large collaborations and programs should be encouraged, including large surveys and the associated theoretical research.
- New large technological infrastructures should not be started or continued at the expenses of an adequate support to the current INAF scientific activities.
- The role of INAF within international organizations like ESO and ESA should be more active and effective, in particular regarding the development of the next large international infrastructures.
- Proposals for new projects, instrumentation and observing infrastructures must always be selected through a bottom-up process, based on their scientific relevance.
- Strategic coordination with Italian Universities should be pursued through formal agreements in order to create a compact national astrophysical community that allows a close integration of research, higher education and staff mobility between INAF and Universities.
- Collaboration and coordination with other Italian scientific institutions on common projects should also be strengthened.

Achieving a leading role in those major international projects that can produce outstanding scientific breakthroughs is a top priority. INAF should therefore support technological involvement in a number of key projects planned for the coming decade and beyond. These important international projects and the recommended Italian involvement are briefly described below.

- The access of the Italian community to major present and near future international facilities with significant Italian contributions must be guaranteed and possibly increased through dedicated support. Such facilities are: **VLT, XMM, SOHO, Herschel, GLAST and Auger**. Improving the access to other major currently operating international facilities with little Italian involvement, like **HST, Chandra, Spitzer** and in the future **JWST**, would also be desirable.
- Develop Italian-led **innovative instrumentation for large ground-based telescopes** and, in particular, actively support the development of the next generation **VLT** instruments. Contribute to keeping the VLT instrumentation at the top level.
- Prepare the community for the exploitation of the next large ESO and ESA facilities like **ALMA** and **GAIA**.
- Participate in the development of the future major facilities like

ESO-ELT, SKA, high-sensitivity observatories in both soft and hard X-rays, provided that a relevant participation of the community in the instrumentation and/or to the science is guaranteed.

- Support the community involved in **Mars-Express, Venus-Express** and **ROSETTA** and the preparation of **BepiColombo** and **ExoMars**.
- INAF should act to guarantee the full exploitation of **Planck** data and to maintain its leadership in **CMB sub-orbital experiments**, also in the preparation of the participation in a mission dedicated to the detection of the **B mode polarization of the CMB**.

INAF has inherited four large technological projects (TNG, LBT, VST and SRT) started in frameworks dramatically different from the current situation. LBT, SRT and VST benefited from dedicated funding that turned out to be inadequate for their completion, operation and exploitation. LBT, VST and SRT are expected to produce a high scientific return for the Italian community, but they require a high level of investment for their completion (including development of adequate instrumentation), operation and data analysis. Furthermore, their full exploitation is still subject to significant risks.

For these projects the following is recommended:

- The completion of these infrastructures, although not questioned here, should not jeopardize the principal scientific activities of INAF.
- The level of support for the future exploitation of these observatories and the development of new instrumentation must be subject to scientific competition with all other INAF projects.

The main priorities for these projects are:

- Supporting and enabling the access of the Italian community to **LBT** for the best exploitation of its scientific capabilities is a first priority. **LBC** should be best exploited through dedicated large/legacy surveys.
- **TNG** should be made more competitive by focusing its use on a few, large specific programs.
- Take radical actions to ensure the rapid completion of **VST**. Support large/legacy surveys, following a critical review and update of the scientific plans, with the involvement of the Ita-

lian community at large.

- In the field of radio-astronomy, **SRT** is — apart from ALMA— the first priority on short/medium timescales, provided that its capability to operate efficiently high frequencies (40-100 GHz) is first demonstrated.

Other important projects require a medium or a low level of funding (hundreds of kEuro/yr or less) but have a potentially large impact on the community.

These include:

- **Wide field optical/NIR imaging and spectroscopy** from ground and space telescopes; **NIR interferometry** at VLT and LBT (VLTI, Linc-Nirvana) and, in the future, from space; **SPICA**.
- **Swift, INTEGRAL** and its possible successor, **dedicated X-ray missions** (polarimetry and high resolution spectroscopy); **AGILE; Cherenkov telescopes** like HESS, MAGIC, and CTA; the next generation of **Cosmic Ray experiments**.
- **Cassini**, a new mission to the **Jovian system** and to the **in situ exploration of a NEO**.
- **Solar Orbiter** and a **large ground-based solar telescope**.