

Dott. Ezio Caroli  
**CURRICULUM VITAE ET STUDIORUM**

*NOME E COGNOME*

Ezio Caroli

*DATA E LUOGO DI NASCITA*

18 Luglio 1954 a Pavullo nel Frignano (MO)

*CITTADINANZA*

ITALIANA

*STATO CIVILE*

Coniugato con tre figli

*SERVIZIO MILITARE*

Assolto presso il 3° Battaglione Bersaglieri Cernaia (PN) dal 10/10/78 al 1/10/79. Congedato con il grado di Sergente di complemento.

*EDUCAZIONE SCOLASTICA SECONDARIA*

Liceo Scientifico E. Fermi, Bologna dall'A.A. 1968/69 al 1972/73. Maturità scientifica conseguita in Luglio 1978 con 54/60 presso lo stesso liceo.

*EDUCAZIONE UNIVERSITARIA*

Iscritto al corso di Laurea in Fisica della Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali dell'Università degli Studi di Bologna dall'A.A. 1973/74 al 1976/77. Conseguito il titolo di Dottore in Fisica il 18 Marzo 1978 con punti 110/110 e Lode al termine dei quattro anni legali.

Titolo della tesi di Laurea e relatori: "Studio compartimentale delle reti metaboliche", Proff. G. Fano e F. Corsini dell'Università di Bologna.

*CORSI POST-UNIVERSITARI*

Frequenta negli A.A. 1978/79 e 1979/80 la Scuola di Perfezionamento in Fisica presso l'Università degli Studi di Bologna.

Frequenta e supera l'esame finale (con 27/30) del Corso di "Gestione Automatica degli Archivi" organizzato dal Centro di Calcolo dell'Università di Modena nel 1980.

Frequenta la 5<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup> edizione della Scuola Estiva di Fisica Matematica del C.N.R., tenutesi a Ravello nel 1980 e 1981.

*ATTIVITÀ LAVORATIVA*

**1979-1982:** Docente supplente presso Istituti di Istruzione Secondaria Statali e Comunali (Matematica, Fisica, Matematica e Fisica).

Collaboratore a titolo gratuito con docenti dell'Università Bologna per ricerche nel campo biofisico e medico (vedi pubblicazioni).

Aggregato come collaboratore a titolo gratuito del Gruppo Nazionale di Fisica Matematica del CNR (Anni 1980/81/82).

Collaboratore a titolo gratuito del Dott. C. Tomasi e Prof. O. Vittori dell'Istituto FISBAT/CNR di Bologna per ricerche nel campo della fisica degli aerosol atmosferici e dell'analisi di serie storiche di dati meteorologici (vedi pubblicazioni)

- 1982-1987:** Ricercatore a contratto (ex art. 36, comma 1) presso l'Istituto TESRE/CNR di Bologna, assunto per le esigenze del programma GAMTEL per la realizzazione di un telescopio a maschera codificata per gamma di bassa energia.
- 1988-** : Dal 1 Aprile 1988 è Ricercatore di ruolo presso l'Istituto TESRE/CNR di Bologna. Collabora con il gruppo di astronomia X e gamma sia nel campo osservativo che sperimentale e attualmente è responsabile della linea di sviluppo di rivelatori a stato solido. Dal 1994 è impegnato come responsabile in progetti di ricerca nel campo dello sviluppo di strumenti innovative per astronomia X e  $\gamma$ . Dal 2006 è Primo Ricercatore dell'Istituto Nazionale di Astrofisica presso lo IASF-Bologna.

### **ATTIVITÀ DIDATTICA E DI FORMAZIONE**

#### **Tesi di Laurea e Dottorato:**

Ha collaborato alla realizzazione e stesura di tesi di Laurea e di dottorato in Fisica ed Astronomia in particolare è stato correlatore delle seguenti tesi di Laurea:

- 1) Studio dell'Uniformità di risposta e stabilità in temperature di rivelatori di CdTe. Tesi di Laurea di Alessandro Ranieri, Facoltà di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, Università degli Studi di Bologna, A.A. 1991/1992
- 2) Studio biparametrico di rivelatori di CdTe per applicazioni spettrometriche. Tesi di Laurea di Antonella Roggio, Facoltà di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, Università degli Studi di Bologna, A.A. 2001/2002
- 3) Rivelatori di CdZnTe sensibili alla posizione per missioni spaziali in raggi X duri. Tesi di Dottorato di Ricerca in Fisica (Ciclo XVII) di Natalia Auricchio, Università degli Studi di Bologna, A.A. 2003/2004
- 4) GRB polarimetry with Lobster/GRBM: Montecarlo simulations., Tesi di Laurea di Gabriella Faithe Capozza, Corso di Laurea in Astronomia, Università degli Studi di Bologna, A.A. 2008-2009,

#### **Borse di Studio:**

1. Tutore della Dott.ssa G. Ramunno relativamente ad una borsa di studio (Marzo 1995/Febrero 1996) del programma Fondo Sociale Europeo attribuita dal CNR su attività sperimentale dedicata allo sviluppo di spettrometri ad HgI<sub>2</sub> per alta energia (< 1 MeV)
2. Tutore della Dott.ssa N. Auricchio relativamente ad una Borsa di Studio (Settembre 2003/Agosto 2004) per laureati del CNR (Bando 201.22.02), su attività di ricerca sullo sviluppo di rivelatori sensibili alla posizione di CdTe/CZT per astronomia X e gamma presso lo IASF-Sezione di Bologna.

#### **Corsi e incarichi di docenza universitaria:**

- a) Professore a contratto a titolo gratuito del corso integrativo "Modelli di Sistemi Biologici" dall'A.A. 1992/1993 al 1997/1998, Scuola di Specializzazione in Fisica Sanitaria (Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna):
- b) Scuola di Specializzazione in Cardiologia I (Università di Bologna): Incaricato del corso integrativo "Modelli Metabolici" per gli A.A. 1992/1993 e 1993/94.

- c) Corso su “Coded Aperture Imaging in X and Gamma-Ray Astronomy”, Corso di Laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica, Università di Ferrara. 26 Maggio-23 Giugno 2005 (ore 10).
- d) Corso su “Hard X and gamma-ray detector for astrophysics”, Corso di Laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica, Università di Ferrara., 22 Maggio-12 Giugno 2007 (ore 12).
- e) Professore a Contratto dell’insegnamento OSSERVAZIONI DI RAGGI X E GAMMA CELESTI (Rivelatori di piano focale per astronomia gamma, ore 20), Corso di Laurea Specialistica di FISICA della FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI, 22 Maggio-23 Giugno 2009.
- f) Professore a Contratto dell’insegnamento OSSERVAZIONI DI RAGGI X E GAMMA CELESTI (Rivelatori rivelatori di raggi X per applicazioni spaziali, ore 20), Corso di Laurea Specialistica di FISICA della FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI, 27 Maggio-23 Giugno 2010.
- g) Professore a Contratto dell’ OSSERVAZIONI DI RAGGI X E GAMMA CELESTI (Rivelatori rivelatori di raggi X per applicazioni spaziali, ore 20), Corso di Laurea Specialistica di FISICA della FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI, 17 Maggio-8 Giugno 2011.

### ***INCARICHI E RESPONSABILITÀ***

- a) Membro eletto dal personale del Consiglio Scientifico dell’Istituto TESRE dal 1996 al 2001.
- b) Responsabile per la realizzazione del sistema di collimazione di IBIS a bordo del satellite INTEGRAL, missione ESA per astrofisica gamma (2002).
- c) Punto di contatto e reponsabile per l'Istituto TESRE (ora IASF) nell’ambito delle attività relative alla sviluppo di IBIS, per la definizione dei modi operativi e delle funzioni di PICsIT (il piano di rivelazione operativo da 0.1 a 10 MeV di IBIS a bordo di INTEGRAL) da implementare a nell’elettronica di gestione di bordo (2002).
- d) Coordinatore per la definizione della strumentazione di piano focale durante la preparazione delle proposta della mission Gamma-Ray Imager (GRI) presentata ad ESA nell’ambito della primo Bando Cosmic Vision 2015-2025 (2006-2007).
- e) Membro del Gruppo di Lavoro di supporto alla direzione dello IASF-Bologna nominato dall Dott. Nazzareno Mandolesi (2006-2010)
- f) Membro del Gruppo di lavoro per la ricerca di base (progetti di struttura) nominato dal Dott. Nazzareno Mandolesi (2006-2010)
- g) Responsabilità e il coordinamento sia di progetti di ricerca finanziati che di proposte (vedi elenco dedicato che segue).

### ***COMMISSIONI Nazionali ed Internazionali***

- a) Membro Esaminatore della commissione di Dottorato del Dott. Rui Miguel Curado da Silva, Ecole Doctorate Sciences pour l’Ingénieur, Université Louis Pasteur (Strasbourg, France), 1 ottobre 2002.
- b) Membro come Relatore della commissione di Dottorato della Dott.ssa Nadège Remou, Ecole Doctorale des Sciences de l’Univers, dell’Environment e de l’Espace (SDU2E), Université de Toulouse (France), 21 Aprile 2010.

- c) Membro della commissione di Master di Mr. João Bernardo Campos, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra (Portugal), 13 Settembre 2010.

### **SCUOLE E CONGRESSI**

- a) International Workshop on *Imaging in High Energy Astronomy*, Anacapri (Isola di Capri, Italia), 26-30 Settembre 1994: Membro del Comitato Organizzatore Locale
- b) Membro del Comitato organizzatore della International Advanced School “Leonardo da Vinci, promossa dal CNR, Area di Ricerca di Bologna, dei seguenti corsi estivi tenutisi nel 1996, 1998, 2000 e 2002 .

### **RICHIESTE DI GIUDIZIO SU ARTICOLI E PROGETTI (Referee)**

Richiesta di giudizio su articoli scientifici da pubblicare su riviste internazionali:

1. IEEE Transaction on Nuclear Science (n. 9)
2. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A (n. 2)
3. Experimental Astronomy (n. 3)
4. Institute of Physics (IOP) journals (n. 2)

Fanno parte integrante del CURRICULUM le seguenti sezioni:

1. Curriculum dell'Attività scientifica
2. Elenco delle proposte e dei progetti
3. Elenco delle pubblicazioni scientifiche e tecniche

*Tutte le dichiarazioni rese e sottoscritte nel predetto curriculum hanno valore di autocertificazione ai sensi dell'art. 46 del DPR n. 445/2000 e successive modificazioni ed integrazioni*

In fede

Dott. Ezio Caroli

Bologna, 31 Maggio 2011

Dott. Ezio Caroli  
**CURRICULUM DELL'ATTIVITÀ SCIENTIFICA**

Attività precedente al rapporto di lavoro con l'Istituto TESRE/CNR di Bologna

**Anni 1978-1980**

Dopo il lavoro di tesi inerente lo sviluppo di modelli compartimentali di reti metaboliche l'attività del sottoscritto in questo periodo si è concentrata nei seguenti campi di interesse prevalentemente biofisico in collaborazione con docenti della Facoltà di Medicina e Chirurgia e del corso di Laurea in Fisica: (a) applicazioni dei modelli per la simulazione numerica di sistemi biologici; (b) analisi ed interpretazione di dati clinici; (c) problemi di fisica matematica applicata alla fluidodinamica nei grandi vasi.

**Anni 1980-1982**

Questo periodo vede la collaborazione del sottoscritto con il gruppo del Prof. O. Vittori (Direttore del FISBAT/CNR) e con il Dott. C. Tomasi dello stesso Istituto. In particolare vengono affrontati dal sottoscritto problemi di analisi statistica di serie storiche meteorologiche e ricerche sulle proprietà ottiche di particelle di aerosol di diverso tipo e sui processi di estinzione da particelle in atmosfera mediante lo sviluppo di software dedicato.

Attività posteriore al rapporto di lavoro con l'Istituto TESRE/CNR di Bologna

Da quando il sottoscritto ha iniziato il suo rapporto di lavoro con l'Istituto TESRE del CNR di Bologna la sua attività di ricerca si svolge principalmente nell'ambito della astronomia gamma sperimentale ed in particolare:

- a) studio e progettazione di rivelatori di fotoni di alta energia mediante sviluppo di strumentazione e prototipi per palloni stratosferici e satelliti e simulazioni numeriche;
- b) problematiche dell'imaging in astrofisica delle alte energie;
- c) analisi ed interpretazione di dati osservativi di alta energia ottenuti da strumenti su pallone e satelliti.

**Anni 1982-1987**

Il sottoscritto viene assunto a contratto (ex. art. 36, comma 1) per le esigenze del programma di ricerca GAMTEL finanziato dal Piano Spaziale Nazionale per la parte italiana e dal SERC per la parte inglese. Il programma prevedeva la realizzazione di un telescopio a maschera codificata per ottenere immagini del cielo ad alta risoluzione angolare nell'intervallo 200 keV - 10 MeV.

L'attività del sottoscritto si concentra in questo periodo alla realizzazione del GAMTEL, occupandosi in particolare di:

- a) Calibrazione degli elementi di NaI(Tl) sensibili alla posizione del piano di rivelazione del telescopio allo scopo di determinarne la risposta in termini di risoluzione spaziale ed energetica, partecipando alle prove sperimentali e sviluppando il s/w per l'analisi dei dati e la produzione delle tabelle di correzione  
da implementare nell'elettronica di bordo.
- b) Integrazione e calibrazione finale del telescopio come coordinatore delle attività del TESRE in questa fase.
- c) Controllo del s/w del GSE con particolare riguardo all'implementazione di programmi per il controllo automatico di guadagno durante il volo

Nello stesso periodo il sottoscritto si è inoltre occupato di problemi relativi all'utilizzo di maschere codificate per l'*Imaging* di alta energia e allo sviluppo di s/w per l'analisi di dati prodotti da telescopi ad apertura codificata ed in particolare si è concentrato sui seguenti aspetti:

- a) Studi teorici e mediante simulazione numeriche delle caratteristiche di vari tipi di pattern per la realizzazione di maschere codificate con particolare riguardo alla valutazione del rapporto segnale rumore nelle immagini deconvolute e alla ottimizzazione della matrice di deconvoluzione.
- b) Sviluppo di s/w per la simulazione di osservazioni di sorgenti ad alta energia con un modello completo del telescopio GAMTEL per lo studio quantitativo della risoluzione angolare e della accuratezza di ricostruzione delle posizioni ottenibili

Sempre in questo quinquennio il sottoscritto ha anche partecipato ad attività relative al programma SAX. In particolare, come membro del SAX Ground Segment Scientific Group ha partecipato alla definizione dei requisiti per la Stazione di terra e alla definizione dei requisiti del s/w scientifico al Centro di Controllo Operativo (OCC).

## **Anni 1987-1990**

Il sottoscritto viene assunto in ruolo come ricercatore dal 1° Aprile 1988. In questo periodo il sottoscritto nelle seguenti attività di ricerca:

- a) Programma GAMTEL: il sottoscritto partecipa alle prove di pre-volo e alla ampagna di lancio del Telescopio dalla base NSBF di Palestine (Texas, USA). Successivamente al volo partecipa alle attività di ripristino del Telescopio ed in particolare diventa responsabile per la realizzazione del nuovo GSE.
- b) Missione GRASP: partecipa alle attività di fase A allo scopo di definire il progetto di una missione di astronomia gamma da satellite (Missione M1/ESA) basato su di un rivelatore sensibile in 3 dimensioni alla posizione costituito da una matrice di sbarrette di CsI(Tl) con lettura a fotodiodi accoppiata ad una maschera codificata. In particolare si occupa delle prove sulle sbarrette di CsI e agli aspetti di ottimizzazione della risoluzione spaziale e ed energetica mediante simulazioni numeriche e test sperimentali.

In questo periodo il sottoscritto entra a far parte del Data Analysis Working Group nell'ambito del programma SAX e partecipa alla definizione dei requisiti del s/w per le simulazioni degli strumenti a bordo del satellite, del s/w scientifico per l'analisi dei dati e delle funzioni del Centro Dati Scientifici (SDC) di SAX.

## Anni 1990-1997

Le attività principali del sottoscritto in questi anni si concentrano su tre linee di ricerca principali:

**a)** Programma INTEGRAL (selezionata come missione M2 nell'ambito del programma Horizon 2000 di ESA): Il sottoscritto ha partecipato allo studio di fase a dell'*imager* di INTEGRAL in particolare partecipando allo sviluppo del s/w di simulazione per la definizione delle prestazioni dello strumento e allo studio dei problemi relativi allo fondo strumentale e dell'efficienza. Attualmente é punto di contatto per il TESRE per le attività relative alla definizione della risposta alla AO di ESA.

Nell'ambito di queste attività é stato inoltre responsabile (in collaborazione con la Medialario S.r.l) della definizione dei costi e dello sviluppo temporale del collimatore del primo piano di rivelazione, della struttura meccanica dell'intero rivelatore e del MGSE.

Dal punto di vista scientifico collabora con i gruppi di Saclay (Francia), inglesi (Southampton e Birmingham) e con lo IAS/CNR per la definizione dei problemi di *source confusion* ed il loro impatto sul disegno dell'*imager* e del XRM e sull'ottimizzazione del disegno del rivelatore.

Dalla primavera 1995, dopo la scelta definitiva di ESA per il carico scientifico della missione INTEGRAL e l'uscita della Gran Bretagna dal progetto relativo all'*Imager*, il sottoscritto ha continuato l'attività su questa missione restando, in particolare, responsabile dell'ottimizzazione del disegno e della realizzazione del sistema di collimazione di *IBIS* (nome definitivo dell'*Imager*). All'interno dell'Istituto TESRE é inoltre responsabile per i modi operativi del secondo piano di rivelazione (PICsIT) e segue i problemi connessi alla calibrazione e allo sviluppo del s/w dello stesso piano

**b) Rivelatori a stato solido a temperatura ambiente:** dal 1991 inizia a collaborare con il gruppo che si occupa di rivelatori a stato solido a temperatura ambiente (Tellururo di Cadmio (CdTe) e Ioduro di Mercurio (HgI<sub>2</sub>)). Si occupa in particolare dello studio di fattibilità per la realizzazione di spettrometri sensibili alla posizione ad alta risoluzione spaziale (pixel di qualche mm<sup>2</sup>) e media risoluzione energetica ( $E/\Delta E > 50$  a 500 keV) mediante matrici di microcristalli di CdTe. In questa prospettiva propone due idee per la realizzazione di strumenti per astronomia X e  $\gamma$  basate su matrici di CdTe in risposta a due Call for Ideas dell'ESA che sono giudicate positivamente. In seguito all'interesse suscitato dai risultati ottenuti sui singoli microspettrometri di CdTe e alla presentazione di queste idee a diverse conferenze internazionali (vedi pubblicazioni) é stato scelto come piano di rivelazione per le basse energie (20-200 keV) di IBIS a bordo di INTEGRAL una matrice di rivelatori di CdTe di più di 16.000 elementi.

Sempre nell'ambito di questa linea di ricerca il sottoscritto ottiene nel 1994/95 e 1995/96 un finanziamento dal CNR prima nell'ambito del Progetto strategico *Nuove tecnologie in Ottica astronomica e Astrofisica Spaziale* e poi, per il 1996/1997, nel ambito del Progetto Strategico su *Materiali e dispositivi per Optoelettronica* per lo sviluppo di un modulo lineare di micro cristalli di CdTe in una particolare configurazione geometrica. Questo modulo con elettronica di pre-amplificazione integrata a basso rumore e consumo é stato pensato come elemento base per la realizzazione di spettrometri sensibili alla posizione per applicazioni spaziali nel campo dell'Astrofisica X gamma. Questa ricerca si svolge in collaborazione con il Prof. Manfredi dell'Università di Pavia, il Politecnico di Milano, e due Istituti CNR (IAS di Frascati e IRTEC di Faenza). Spettrometri a matrice di microcristalli di CdTe sono oggetto di un progetto di ricerca coordinato presentato dal sottoscritto all'ASI per il 1995 e che vede coinvolti altri due Istituti CNR (IAS di Frascati e IFCTR di Milano). Il progetto ha come scopo lo studio di fattibilità di un telescopio a maschera codificata per Astronomia X e gamma (~20 keV - 2 MeV) basato su un rivelatore a matrice di CdTe. Oltre allo studio degli aspetti realizzativi dei vari sottosistemi questo

progetto prevede di approfondire i problemi legati all'ottimizzazione delle capacità di *imaging* in telescopi che operano su una larga banda energetica per esempio attraverso maschere a doppia scala

c) Analisi e Cataloghi di dati di alta energia di oggetti extragalattici: il sottoscritto ha partecipato alla realizzazione di cataloghi di spettri ottenuti da osservazioni ad alta energia ( $> 0.1$  keV) di AGN e oggetti BL Lacertae e ha sviluppato procedure statistiche in IDL per l'analisi dei dati di questi cataloghi allo scopo di studiare caratteristiche peculiari di gruppi di oggetti, di verificare correlazioni fra i vari parametri spettrali a diverse lunghezze d'onda e di analizzare classificazioni di AGN in funzioni di parametri osservativi come ad esempio  $N_H$ .

### **Anni 1998-2004**

In questi anni il sottoscritto concentra la sua attività essenzialmente sullo sviluppo di nuovi rivelatori per Astronomia X e gamma basati su CdTe e CZT. In particolare è in questo periodo che sono finanziate progetti presentati dal sottoscritto in collaborazione con altri gruppi di ricerca e istituzioni. In particolare:

(a) Progetto Speciale del CNR: **E**lettronica Integrata a **B**assa Potenza per Spettrometri sensibili alla posizione di Tellururo di Cadmio per astrofisica spaziale X e gamma (ELBA). Questo progetto si svolge nel biennio 1998-1999 in collaborazione con il Dipartimento di Elettronica ed Informazione del Politecnico di Milano. L'obiettivo del progetto era lo sviluppo di elettronica di front-end integrata (ASIC) a basso consumo (1 mW per canale) e basso rumore (10 KeV equivalenti a  $3 \sigma$ ) necessario per la realizzazione di rivelatori a matrice di microspettrometri di CdTe per astronomia in raggi X duri e gamma molli (10-1000 keV).

(b) Progetto per lo Sviluppo di Rivelatori a CdTe epitassiale per Astronomia-X nell'Intervallo 10-100 keV. Questo progetto coordinato, che ha previsto la partecipazione di due Istituti CNR e tre gruppi Universitari, è stato finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana nel periodo 1999-2001. L'obiettivo del progetto era lo sviluppo di un apposito processo di crescita epitassiale in film spesso di cristalli di CdTe di elevata area ( $4-5 \text{ cm}^2$ ) e a elevata uniformità di risposta e riproducibilità per la realizzazione di rivelatori pixellati adatti a operare come piani focali in telescopi a concentratori di Raggi X duri. Un ulteriore obiettivo era la realizzazione di elettronica integrata a basso rumore e bassa dissipazione in grado di permettere una facile connessione con la struttura di questo tipo di rivelatori che presenta alta densità di pixel essendo la risoluzione spaziale richiesta inferiore al mm.

(c) Dal 1999 il sottoscritto in collaborazione con il Dr. Rui Curado da Silva e il laboratorio PHASE del CNRS di Strasburgo ha cominciato uno studio sulla possibilità di utilizzare rivelatori a matrice di CdTe per misure di polarimetria in raggi X duri e gamma molli. In particolare è stato proposto in questo periodo un piccolo telescopio (CIPHER) da pallone basato su un rivelatore a matrice di CdTe spesso accoppiato ad una maschera codificata per effettuare la prima misura della polarizzazione della pulsar della Crab ad alta sensibilità al di sopra di 100 keV. Questa attività si è svolta in diverse direzioni:

(i) sviluppo di un codice montecarlo basato su GEANT 4 per lo studio delle prestazioni come polarimetri di matrici di CdTe in funzione di vari parametri critici come la dimensione dei pixel, lo spessore, la geometria del rivelatore, l'angolo di incidenza dei fotoni

(ii) realizzazione di un serie di misure sperimentali con prototipi di rivelatori pixellati ( $4 \times 4$  pixel) di CdTe di diversi spessori sotto un fascio X di alta energia linearmente polarizzato. Questo esperimento con il nome di POLCA (POLarimetry with CdTe Array) è stato proposto all'ESRF di Grenoble nel marzo 2000 e approvato in Aprile dello stesso anno. La campagna di misure che si è svolta nel luglio 2002, ha confermato con l'analisi preliminare i risultati delle simulazioni

montecarlo e ha permesso di ottenere diversi dati che con una analisi più approfondita permetteranno di ottenere preziose ulteriori informazioni sulle prestazioni di questo tipo di rivelatori come polarimetri per raggi X a energie maggiori di 100 keV. L'esperimento POLCA ha fornito le prime misure dirette di polarizzazione con matrici di CdTe a livello mondiale. Grazie ai risultati ottenuti si sta pensando all'estensione dell'esperimento a matrici di dimensioni più grandi in modo da ottenere informazioni più precise sull'effetto della distanza dal punto di scattering e dell'angolo di rotazione degli assi del rivelatore rispetto al piano di polarizzazione dei fotoni, sul fattore di qualità polimetrica.

I risultati ottenuti sono stati utilizzati anche per migliorare le previsioni sulle capacità di ottenere misure di polarizzazione in raggi X duri e gamma molli con strumentazione basata su questo tipo di rivelatori, anche pensandoli nel fuoco di lenti di Laue. Alla luce di queste indicazioni è stato proposto con largo consenso internazionale, in risposta al Call for Cosmic Vision Themes 2015-2025 di ESA, l'argomento della polarimetria ad alta energia come

(iii) Nel periodo 2001-2002 sono stato ideatore e responsabile della realizzazione in collaborazione con i colleghi della sezione di Bologna e Palermo di un piccolo esperimento basato su una matrice spessa di CdTe (CACT $\mu$ S – Compact Array of CdTe  $\mu$ -Spectrometers) che è stato fatto volare su pallone stratosferico nel Luglio 2002 dalla base ASI di Milo. Questo esperimento è stato realizzato come complementare all'esperimento POLCA per lo studio del fondo in ambiente pseudo-spaziale di questo tipo di rivelatori. L'analisi dei dati di 'house-keeping' e dei dati scientifici ha dimostrato il corretto funzionamento dello strumento durante il volo trans-mediterraneo. In particolare lo spettro di fondo misurato è risultato compatibile con i risultati ottenuti da altri piccoli esperimenti basati su rivelatori di CdTe o CZT. Un particolare obiettivo dello studio ancora in corso dei dati è quello di verificare la distribuzione degli eventi doppi prodotti dal fondo. Questo studio ancora in corso fornirà importanti informazioni per la valutazione della sensibilità alla polarizzazione di rivelatori pixellati di CdTe.

(d) Lo sviluppo di nuove ottiche per raggi X duri basate su specchi a multilayer e la necessità di sovrapporre l'intervallo operativo dei rivelatori di CdTe/CZT a quello di eventuali rivelatori di bassa energia (per esempio CCD) ha imposto lo sviluppo di rivelatori in grado di operare da soglie di pochi keV al centinaio di keV e con risoluzione sia energetica che spaziale molto spinta (per es. 1% a 60 keV e pixel sub-millimetrici). In questa direzione una collaborazione da me coordinata ha preparato un progetto per la realizzazione di nuovi rivelatori di CdTe a contatti bloccanti realizzati mediante tecniche di deposizione epitassiale delle giunzioni *p* e *n* su cristalli massivi. Questo progetto, proposto in una prima fase con l'acronimo EDEXA nel bando Agenzia 2001 del CNR, è stato poi finanziato dal Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca scientifica nell'ambito dei Progetti Cofinanziati per il 2004 e 2005. La tecnologia che si vuole mettere a punto nell'ambito della collaborazione, coordinata dalla Proff.ssa A.M Mancini dell'Università di Lecce, permetterebbe di ottenere dei dispositivi a giunzione con elevate caratteristiche di uniformità e riproducibilità, rendendo molto meno delicato il problema della deposizione di elettrodi metallici su questo tipo di materiale e consentendo di ridurre le correnti di buio di un fattore almeno 10 rispetto ai migliori CZT a contatti ohmici sul mercato. Un ulteriore prodotto di questo progetto è la progettazione di un'elettronica integrata a basso consumo e a basso rumore adatta all'accoppiamento con rivelatori di questo tipo.

(e) In risposta al bando ASI ITT PY-ELE-RDO-003, abbiamo, in collaborazione con vari istituti di ricerca e ditte italiane, e con il coordinamento di G. Pareschi/OAB-INAf, proposto di fare un prototipo di un payload per astrofisica delle alte energie basato su un telescopio focalizzante per raggi X duri, che comprende due sottosistemi: un modulo ottico basato su specchi del tipo

‘multilayer broad-band grazing incidence’ e un rivelatore a semiconduttore di alto-z (e.g. CdTe, CZT) ad alta risoluzione spettroscopica e spaziale. Il progetto prevede la realizzazione di due prototipi: uno con gli elettrodi a microstrip e l’altro con l’anodo segmentato a pixel accoppiati allo stesso ASIC e letti da un’elettronica modulare adattabile alle due configurazioni. Avendo ASI valutato positivamente la proposta, il progetto è ufficialmente iniziato il 6 Maggio 2004. Nell’ambito di questo contratto il sottoscritto è responsabile del sottosistema *Hard X ray detector* che comprende per il gruppo di ricerca presso lo IASF-Sezione di Bologna la realizzazione di workpackages – la prima per sviluppare la matrice ‘microstrip’ e il secondo per realizzare il test-equipment (hardware e software) per la caratterizzazione e calibrazione dei due rivelatori.

### **Anni 2004-2007**

In questo periodo il sottoscritto è stato impegnato principalmente in attività di ricerca e sviluppo nel campo dei rivelatori a stato solido a temperatura ambiente di CZT e CdTe per applicazioni nel campo dell’astrofisica delle alte energie e ha iniziato a occuparsi della loro applicazione in telescopi per raggi X duri e gamma-molli basati sulla promettente tecnica di focalizzazione con Lenti di Laue a larga banda passante per future missioni spaziali. In particolare:

- a) Responsabile della realizzazione del sottosistema rivelatore di raggi X duri di CZT come prototipo di piano focale per ottiche *multilayer* nell’ambito del contratto ASI/OAB (I/014/04/0) per lo sviluppo di un *payload* per astrofisica delle alte energie – Fase A (maggio-ottobre 2004).
- b) Responsabile del gruppo che ha collaborato con il Politecnico di Milano (G. Bertuccio) e l’Università di Lecce in un progetto finanziato dal MIUR nel 2003 (PRIN) dedicato allo sviluppo di una nuova generazione di rivelatori di CdTe per raggi X duri e raggi gamma basati su contatti omo-epitassiali (Dicembre 2003-Novembre 2005).
- c) Responsabile scientifico nel 2005 e 2006 di un progetto di ricerca e sviluppo dedicato alla realizzazione di una nuova versione dell’esperimento POLCA (POLCA II) basato su un rivelatore a pixel di CdTe di grandi dimensioni nell’ambito dello sviluppo di polarimetri a *scattering* per alte energie in collaborazione con l’Università di Coimbra e di Ferrara e lo IASF di Palermo) finanziato da INAF su fondi di ricerca di base e dalla *Fundação para a Ciência e a Tecnologia (Ministério da Ciência)* portoghese. Il prototipo è stato provato con successo in una campagna di misure approvata dal consiglio scientifico di ESRF, presso la linea ad alta energia del Sincrotrone di Grenoble nel Febbraio 2007.
- d) Dal 2004 ha partecipato ad un’estesa collaborazione internazionale per la definizione di una missione gamma (GRI) di nuova generazione basati su lenti di Laue e rivelatori di piano focale a stato solido, da proporre nell’ambito del nuovo programma spaziale ESA (*Cosmic Vision 2015-2025*). In particolare come membro dello *Instrument Working Group*, ha coordinato la definizione della strumentazione 3D di piano focale per la missione GRI basata su lenti di Laue proposta a ESA in risposta al bando *Cosmic Vision 2015-2025*. In questo gruppo di lavoro il sottoscritto ha avuto la responsabilità di definire la baseline del rivelatore di piano focale basato su uno stack di CZT spessi implementati la configurazione di irraggiamento trasversale al campo di raccolta e una struttura a strip di deriva per l’anodo (2006-2007).
- e) Responsabile del progetto INAF/UIT per la realizzazione di un prototipo ingegneristico di sonda chirurgica basata su sensore CdTe da utilizzare per la localizzazione di linfonodi sentinella (2006-2007) in collaborazione con la ditta Studioemme S.a.s. di Bologna.
- f) Responsabile di diversi pacchi di lavoro relativi allo sviluppo di strumentazione per piani focali per lenti di Laue e strumenti a largo campo in progetti finanziati da INAF (Ricerca di Base 2006, PRIN INAF 2005), ASI (contratti tecnologici per sviluppo di rivelatori italiani di CZT e sviluppo di lenti di Laue per astronomia gamma: 2006-2007) in collaborazione con l’Università di Ferrara, con gli altri Istituti IASF/INAF (Palermo, Roma e Milano), l’IMEM/CNR di Parma.

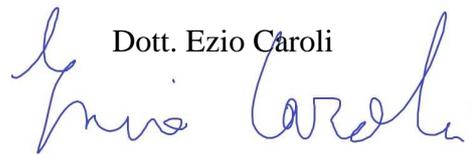
**Anni 2008-2011**

- a) Responsabile di un pacco di lavoro dedicato alla definizione e implementazione del ESQE (Experiment Ground Segment Equipment) presso il fascio del LARIX (Ferrara) nell'ambito del progetto tecnologico triennale (30 mesi) "LAUE: a lens for gamma rays" finanziato dall'ASI e dedicato allo sviluppo di una tecnologia industriale per la realizzazione di lenti di Laue a banda larga (70-500 keV) per future missioni in astrofisica delle alte energie. Il progetto è ufficialmente partito nel gennaio 2010 con un'attività definizione delle specifiche preliminari dei vari sottosistemi.
- b) Coordinatore nazionale di un progetto finanziato sul bando INAF/PRIN 2007 per lo sviluppo di un prototipo, basato su sensori CZT in un'innovativa configurazione 3D, a elevate prestazioni spettroscopiche ed efficienza, adatto per realizzare strumentazione di piano focale dei nuovi telescopi a lenti di Laue per astrofisica in raggi X duri e gamma molli (2008- 2010.). Questo progetto che si è svolto anche in collaborazione con colleghi dell'Università di Coimbra e del DTU/Space di Copenhagen, si è proposto di verificare la fattibilità e le prestazioni di un rivelatore come quello proposto per la missione GRI. In particolare il prototipo realizzato ha implementato diverse soluzioni innovative non solo nella configurazione del sensore basato su cristalli di CZT, ma anche nell'elettronica di lettura sia analogica che digitale.
- c) Coordinatore dell'Unità di Ricerca INAF in un progetto biennale in collaborazione con due istituti CNR (IMEM/Parma and IMM/Lecce) e due istituzioni accademiche (Università di Lecce e Università Federico II di Napoli), approvato con giudizio eccellente nell'ambito del bando MIUR PRIN 2007. Questo progetto ha avuto come obiettivo lo sviluppo di sensori ad elevate prestazioni e riproducibilità di CdTe/CZT realizzati completamente in Italia (2008-2010) proponendo due tecnologie distinte: una basata sulla crescita di cristalli bulk e la messa a punto di metodi di metallizzazione di CZT (IMEM./CNR) e l'altra su tecniche crescita epitassiali per la realizzazione di cristalli bloccanti. Nel Settembre 2009 il sottoscritto è stato responsabile di un esperimento a ESRF (Grenoble) dedicata alla caratterizzazione mediante irraggiamento trasversale di rivelatori realizzati in collaborazione con i colleghi dell'IMEM/CNR di Parma
- d) Coordinatore e responsabile della preparazione e realizzazione di una serie di esperimenti presso ESRF (POLCA II-III e LaPOLCA), in collaborazione con IASF-PA, Università di Ferrara, Università di Coimbra (Portogallo) e ESRF (Grenoble, Francia) dedicati allo studio delle prestazioni di rivelatori a pixel di CZT come polarimetri a scattering in futuri strumenti per astronomia in raggi X duri e gamma molli come telescopi a lenti di Laue (2007-2009). I risultati ottenuti con la serie degli esperimenti POLCA ha consentito al nostro gruppo di acquisire una buona reputazione in questo settore e soprattutto di essere sempre più confidenti nella possibilità di utilizzare sistemi di rivelazione di questo tipo per ottenere misure ad alta sensibilità, e contemporanee a imaging, spettroscopia e timing, di polarimetria in raggi X duri e gamma molli.
- e) Responsabile di diversi pacchi di lavoro nell'ambito di progetti per lo sviluppo di strumentazione con sensori di CdTe/CZT di piano focale per lenti di Laue e per monitor di alta energia a largo campo finanziati su diversi fondi INAF (Ricerca di base 2006-2008, PRIN 2005) e su due contratti tecnologici ASI (Sviluppo di rivelatori innovativi di CZT italiani e Sviluppo di un prototipo di un dimostratore di lente di Laue basato su cristalli a mosaico di rame: 2006-2007).
- f) Nel 2009, il sottoscritto ha iniziato a collaborare ad un'attività di sviluppo di sistemi di telemetria modulari basati su reti di satelliti (Iridium) con la Ditta LEN Srl (Chiavari) adatti all'utilizzo su palloni stratosferici di lunga durata. In questo contesto ha partecipato alla realizzazione di un volo tecnico-scientifico (Isole Svalbard, Luglio 2009) di un sistema composto da una telemetria Iridium derivata da un'attività IASF-Bologna finanziata da ASI

(Stradium 2008) e da un sistema di rivelazione (SIDERALE) basato su una piccola matrice di CZT sviluppato in collaborazione con altre unità INAF/IASF.

*Tutte le dichiarazioni rese e sottoscritte nel predetto curriculum hanno valore di autocertificazione ai sensi dell'art. 46 del DPR n. 445/2000 e successive modificazioni ed integrazioni*

In fede

Dott. Ezio Caroli  


Bologna, 31 Maggio 2011

Dott Ezio Caroli  
Elenco delle proposte di ricerca e progetti

- P1. A Gamma Ray Telescope for Imaging and Spectroscopy in the range 100 keV - 5 MeV based on Cadmium-Telluride (CdTe) array detector and a coded aperture mask.**  
P.I. nella Risposta alla *CALL FOR IDEAS FOR SMALL MISSION* di ESA (Giugno 1990)
- P2. GRATIS: A Gamma-Ray Astronomical Telescope for Imaging and Spectroscopy**  
P.I. nella Risposta alla *CALL FOR RESEARCH OPPORTUNITIES IN SPACE COLUMBUS PRECURSOR FLIGHT* di ESA (Novembre 1990)
- P3. Spettrometri di CdTe sensibili alla posizione per raggi X duri e gamma molli.**  
Coordinatore sottoprogetto e Responsabile unità operativa c/o Istituto TESRE per la Linea di Ricerca del Progetto strategico *NUOVE TECNOLOGIE IN OTTICA ASTRONOMICA E ASTROFISICA SPAZIALE* (coord. G. Di Cocco ITESRE/CNR), *Finanziato nel periodo 1994-1996.*
- P4. Spettrometri di CdTe sensibili alla posizione per raggi X duri e gamma molli.**  
Coordinatore sottoprogetto e Responsabile unità operativa c/o Istituto TESRE per Linea di Ricerca del Progetto strategico *MATERIALI E DISPOSITIVI PER OPTOELETTRONICA* (Coord. N. Rubino-, ITESRE/CNR), *Finanziato per il 1997*
- P5. ELBA-ELETtronica integrata BASSA potenza per spettrometri sensibili alla posizione di CdTe per astrofisica X e Gamma**  
Responsabile di unità operativa del Progetto Speciale Coordinato (coordinatore: M. Sampietro, Politecnico di Milano) CNR: *Finanziato per il 1998 e 1999*
- P6. TWISTER: Twin scale Wide aperture Imaging and Spectroscopic Telescope for Energetic Radiation**  
P.I. nella proposta presentata in risposta a *ESA for the International Space Station Announcement of Opportunity for Externally mounted Payloads during the Early Space Station Utilisation Period (ESA-SP-1201, December 1996)*
- P7. SISTER: Small Imaging and Spectroscopic Telescope for Energetic Radiation**  
Coordinatore nella risposta a *ASI Calls for Ideas for Small Stellites Missions (Aprile 1997)*
- P8. FOX: Focused Observatory for X-rays**  
Co-I nella risposta a *ASI Calls for Ideas for Small Stellites Missions (Aprile 1997)*
- P9. The High Energy X-ray Imaging Survey (HEXIS)**  
Co-I nella proposta (AO-98-03-OSS-022) per un satellite per raggi X duri presentata in risposta al bando della NASA AO-98-03-OSS MIDEX-Medium Class Explorer and Mission Opportunity (*Marzo 1998*)
- P10. CdTe-based Epitaxial contacts Detector for X- and gamma-ray Astrophysics (EDEXA).**  
Coordinatore della Proposta di Progetto Coordinato – Agenzia 2001CNR (Codice: CNRC017880 – Settembre 2001). La selezione è stata sospesa per problemi di bilancio
- P11. Sviluppo di rivelatori a CdTeEpitassiale per Astronomia X nell'intervallo 10-100 keV**  
Responsabile Scientifico di sottoprogetto nell'ambito di un progetto dedicato allo sviluppo di innovative rivelatori a microstrip di CdTe per Astronomia a raggi X duri (Coord. A.M. Mancini, Università di Lecce) finanziato da ASI (Bando ricerca fondamentale 1998) per gli anni 1999/2000/2001
- P12. Compact Array of CdTe  $\mu$ -Spectrometer (CACT $\mu$ S)**  
PI di un piccolo esperimento basato su una piccola matrice di CdTe volato su pallone stratosferico dalla base ASI di Milo (TP) in Luglio 2002
- P13. POLarimetry with Cadmium telluride Array (POLCA)**  
Responsabile della proposta e dell'esperimento presso ESRF (Grenoble) per valutare le prestazioni di matrici di CdTe come polarimetri per raggi X duri e gamma molli (Luglio 2002) – *Experiment MI 509*

- P14. Sviluppo di rivelatori a CdTe per raggi X e gamma di nuova generazione: rivelatori a contatti epitassiali.**  
Responsabile unità operativa IASF-Bologna nell'ambito di un Programma di Ricerca co-finanziato del Ministero dell'Istruzione e della ricerca scientifica (Coord. A. Mancini/G. Bertuccio) (*Finanziato 2004-2005*) (*Bando MIUR PRIN 2003*)
- P15. Payload for High energy Astrophysics**  
Responsabile di sottosistema e di pacco di lavoro nell'ambito del Progetto preliminare Codice 24 – Area Tematica Payload elettroottici finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (Contratto I/014/04/0) (Marzo 2004)
- P16. Hard X and Gamma-ray Polarisation: the ultimate dimension.**  
PI della proposta presentata alla ESA Call for Cosmic Vision Themes 2015-2025 (June 2004)
- P17. Sviluppo rivelatori per polarimetria e spettroscopia.**  
Responsabile scientifico di un progetto di struttura finanziato con i fondi destinati alla ricerca di base dell'INAF (*Finanziato nel 2005*)
- P18. Laue lens and related focal plane detector development for future hard X-/gamma-ray missions**  
Coordinatore Nazionale e di Unità di Ricerca (INAF/IASF) di un progetto parzialmente finanziato nell'ambito del bando di PRIN INAF 2005 (*Finanziato per il 2005-2006*)
- P19. Polarimetria in raggi X duri con rivelatori a pixel di CZT**  
Responsabile scientifico di un progetto di struttura finanziato con i fondi destinati alla ricerca di base dell'INAF (*Finanziato nel 2006*)
- P20. Proposal of a new Idea: Development of a Laue lens prototype**  
Responsabile di pacco di lavoro di un progetto di sviluppo tecnologico coordinato da F. Frontera (Università di Ferrara) finanziato all'Agenzia Spaziale Italiana (ASI DC-AFC-2005-132). *Finanziato per il 2006-2007*
- P21. Studi di Astrofisica delle Alte Energie/Gamma-Ray Telescope – HAXTEL/GRI (WP 15300)**  
Responsabile Unità di ricerca IASF-Bologna in un progetto triennale finanziato da ASI (Contratto ASI-INAF I/088/06/0) nel periodo 2007-2009.
- P22. REALIZZAZIONE DI UN PROTOTIPO PRE-INGEGNERISTICO DI SONDA MEDICALE PER DIAGNOSI CHIRURGICA BASATA SU SPETTROMETRI DI CDTE**  
Responsabile scientifico di un progetto di ricerca finanziato nell'ambito del Bando 2006 per progetti di trasferimento tecnologico proposto da UIT (Ufficio Innovazione Tecnologica ) dell'INAF (*Finanziato per il 2007*).
- P23. POLarimetry with Cadmium telluride Array (POLCA II)**  
Responsabile della proposta e dell' esperimento presso ESRF (Grenoble) per valutare le prestazioni di matrici di CdTe come polarimetri per raggi X duri e gamma molli (Febbraio 2007) – *Experiment MI 818*
- P24. Rivelatori di CZT come piani focali per imaging spettroscopico e polarimetria in telescopi focalizzanti per raggi X duri e gamma**  
Responsabile scientifico di un progetto di struttura finanziato con i fondi destinati alla ricerca di base dell'INAF (*Finanziato nel 2007*)
- P25. Growth technologies and spectroscopic optimization of CdTe/CdZnTe-based X and gamma ray detectors.**  
Responsabile Unità di Ricerca INAF (IASF-BO, PA) nell'ambito di un Programma di Ricerca co-finanziato del Ministero dell'Istruzione e della ricerca scientifica (Coord. A. Mancini, Università di Lecce) (*Finanziato 2008-2010*) (*Bando MIUR PRIN 2007*)
- P26. Development of an high efficiency wide band 3D CZT detector prototype for Laue telescope focal plane**  
Coordinatore Nazionale e di Unità di Ricerca (IASF-BO) di un progetto finanziato nell'ambito del bando di PRIN INAF 2007 (*Finanziato per il 2008-2010*)
- P27. LAue Cu Lens imaging and POLarimetry with CADmium telluride Array (LA-POLCA)**

**Responsabile** della proposta e dell' esperimento presso ESRF (Grenoble) per valutare le prestazioni di matrici di CdTe come polarimetri per raggi X duri e gamma molli nel piano focale di Lenti di Laue (Marzo 2008) – *Experiment MI-905*

**P28. POLCA (POLarimetry with Cadmium Telluride Array) III**

**Responsabile** della proposta e dell' esperimento presso ESRF (Grenoble) per valutare le prestazioni di matrici di CdTe come polarimetri per raggi X duri e gamma molli (Maggio 2009) – *Experiment MI 966*

**P29. Response of Detectors based on new Italian CZT material (RD-ICZT)**

**Responsabile** della proposta e dell' esperimento presso ESRF (Grenoble) per valutare le prestazioni di rivelatori di CZT sviluppati in Italia (Settembre 2009) – *Experiment MI 967*

**P30. LAUE – Una lente per raggi gamma**

**Responsabile di pacco di lavoro** in un progetto (30 mesi) coordinato da Cassese/DTM (Modena) e finanziato da ASI nell'ambito del Bando per lo Sviluppo Tecnologico (2007) a partire dall'inizio del 2010.

**P31. Design and realization of a 3D CdZnTe spectrometer for environmental, medical, and astrophysics applications**

**Responsabile Unita di Ricerca INAF (IASF-BO, PA)** nell'ambito di un Programma di Ricerca presentato al Ministero dell'Istruzione e della ricerca scientifica (Coord. M. Pavese, Università do Parma) (*Bando MIUR PRIN 2009*)

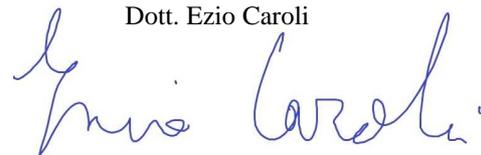
**P32. Advanced Spectroscopic 3D Imager Prototypes for wide band Laue lens Telescopes**

**Coordinatore Nazionale e di Unità di Ricerca (IASF-BO)** di un progetto presentato nell'ambito del bando di TECNO-INAFA 2010

*Tutte le dichiarazioni rese e sottoscritte nel presente elenco hanno valore di autocertificazione ai sensi dell'art. 46 del DPR n. 445/2000 e successive modificazioni ed integrazioni*

In fede

Dott. Ezio Caroli



Bologna, 31 Dicembre 2011

Dott. Ezio Caroli  
IASF- Sezione di Bologna  
**Elenco delle pubblicazioni scientifiche e tecniche**

Il presente elenco si suddivide in 4 sezioni:

1. Elenco delle pubblicazioni di lavori e relazioni su invito
2. Elenco delle pubblicazioni su riviste con giudizio (*refereed papers*)
3. Elenco delle comunicazioni a congressi con pubblicazione degli atti
4. Elenco delle comunicazioni a congressi senza pubblicazione degli atti
5. Elenco dei rapporti interni, note tecniche e documenti di progetto



**Dott. Ezio Caroli**

*Bologna, 31 Maggio 2011*