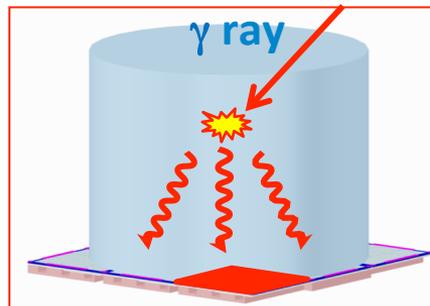
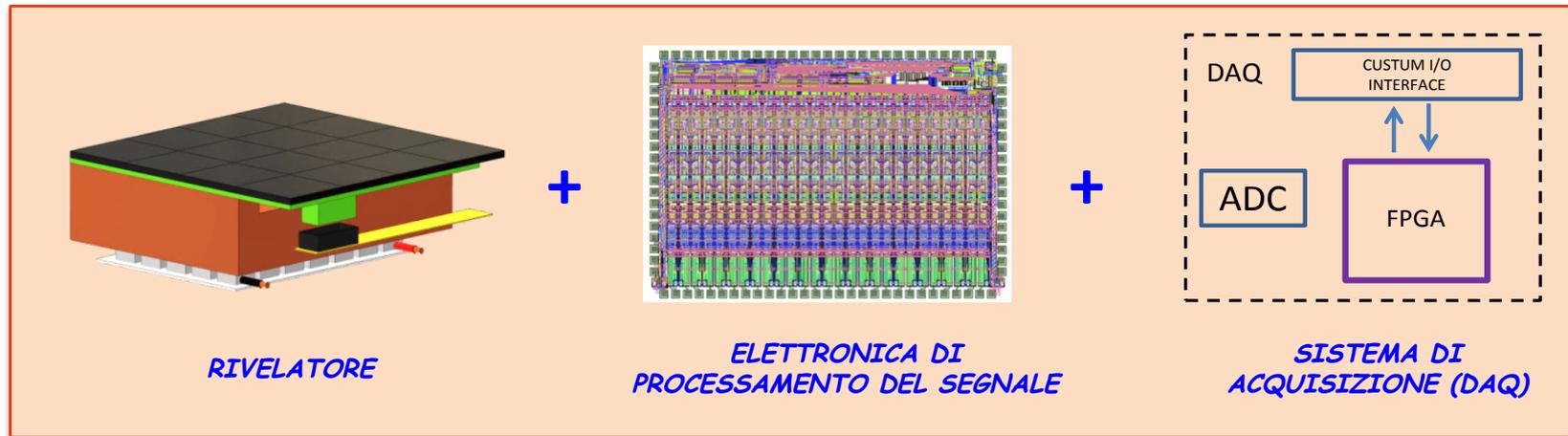


ARDESIA

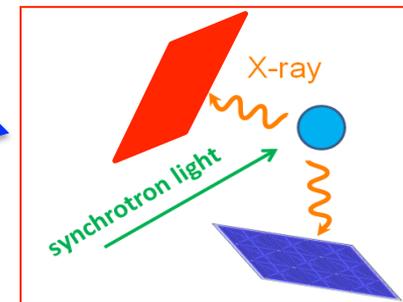
(ARray of DETectors for Spectroscopy and Imaging Applications)

SCOPO: Sviluppo di un rivelatore versatile basato su matrici di Silicon Drift Detectors ed elettronica a basso rumore per spettroscopia X e gamma.



γ-ray Spectroscopy and imaging (Gr. V and Gr.III)

END USERS



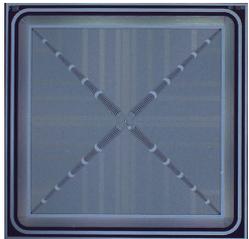
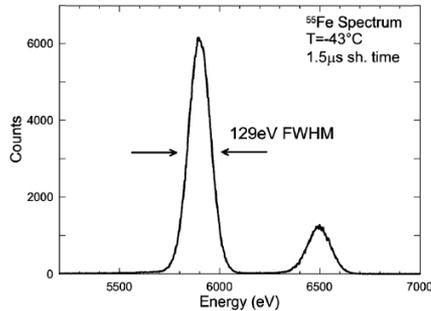
X-ray Spectroscopy (Gr.V)

Opportunità: Offrire a diversi utilizzatori (*linee di luce di Sincrotrone, sorgenti convenzionali, sorgenti Thomson, esp. di fisica nucleare, aziende di sistemi medicali, ecc.*) un sistema di rivelazione per raggi X e γ ad *elevate prestazioni, completo e versatile.*

Base di partenza (1)

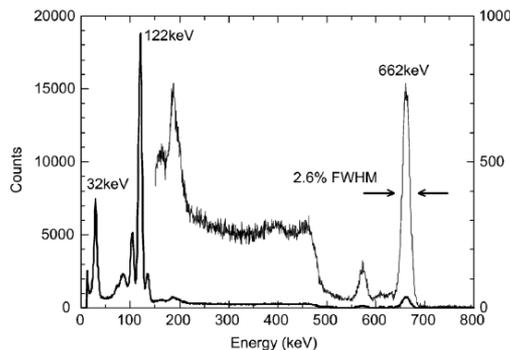
Tecnologia SDD sviluppata ai laboratori FBK di Trento, già provata su unità singole, ed in corso di sperimentazione su matrici (C. Fiorini et. al - *IEEE Trans. on Nuclear Science*, 2013).

X-ray spectroscopy



area = 64 mm²

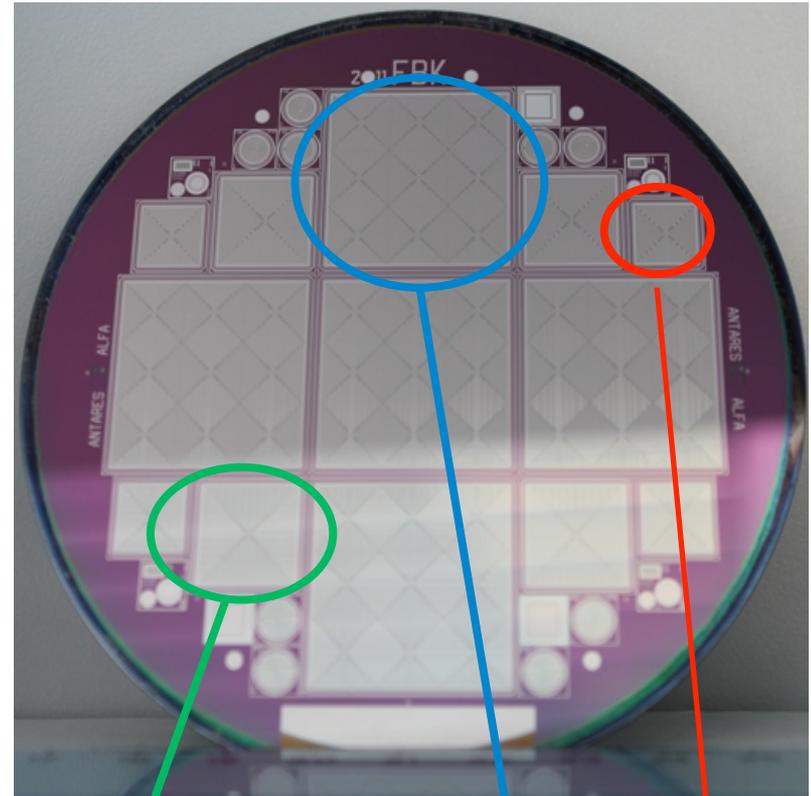
γ-ray spectroscopy with LaBr₃



Produzione FBK :

- 4" wafer (leakage current: 2 nA/cm²)
- now upgraded to 6" wafer

Wafer prodotto nell'ambito di un progetto ESA, per lo sviluppo di spettrometri gamma basati su scintillatori LaBr₃ letti da SDD



12 x 12 mm²

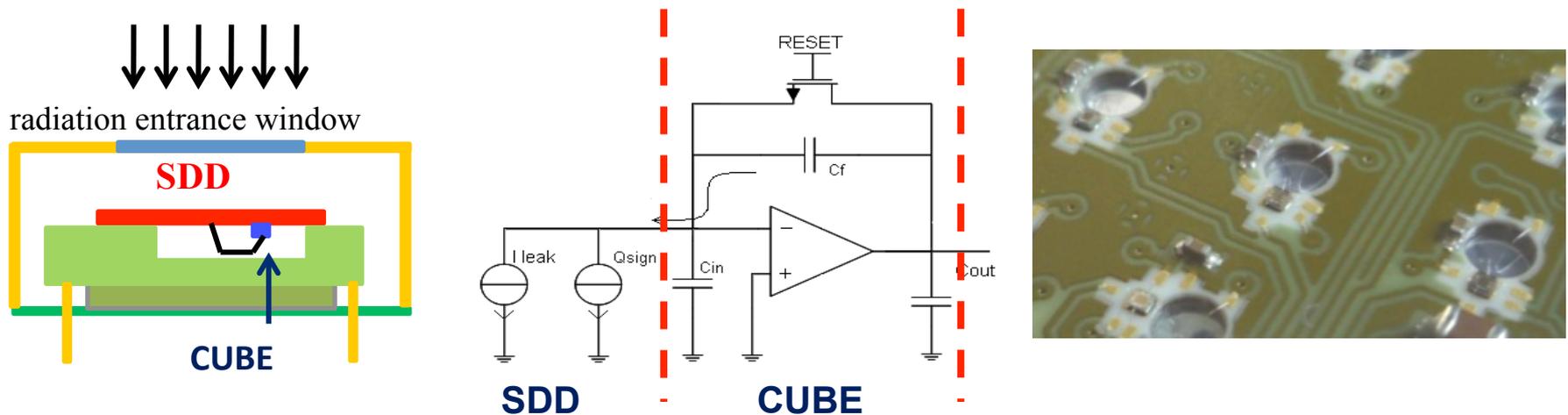
Array: 9 SDDs (8 x 8 mm² each)

8 x 8 mm²

Base di partenza (2)

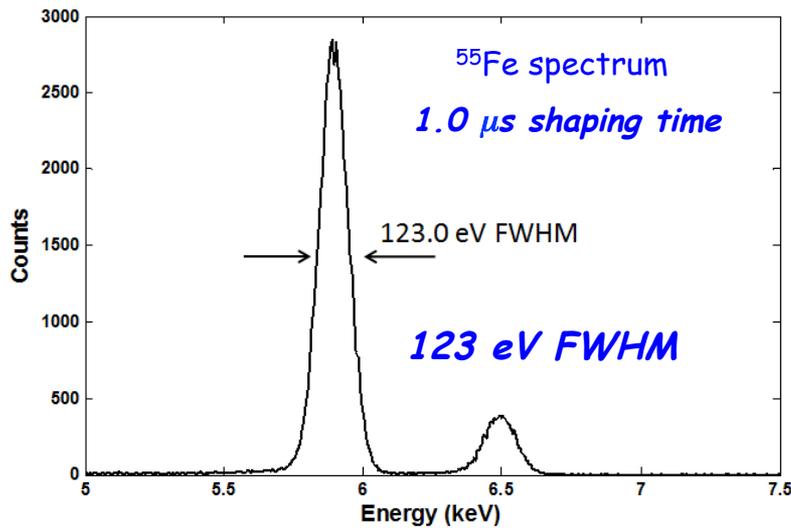
Preamplificatore CMOS 'CUBE' (sviluppato al Politecnico di Milano)

- l'intero preamplificatore collegato nelle vicinanze del SDD (e non solo il FET)
- l'elevata transconduttanza del MOS d'ingresso compensa la maggiore capacità introdotta dal collegamento SDD-FET (rispetto alla tecnologia SDD+JFET integrato del Max Planck Institut, lo stato dell'arte)
- la parte rimanente dell'elettronica (ASIC di processamento analogico) può essere alloggiata a distanza dal rivelatore (10-100cm)

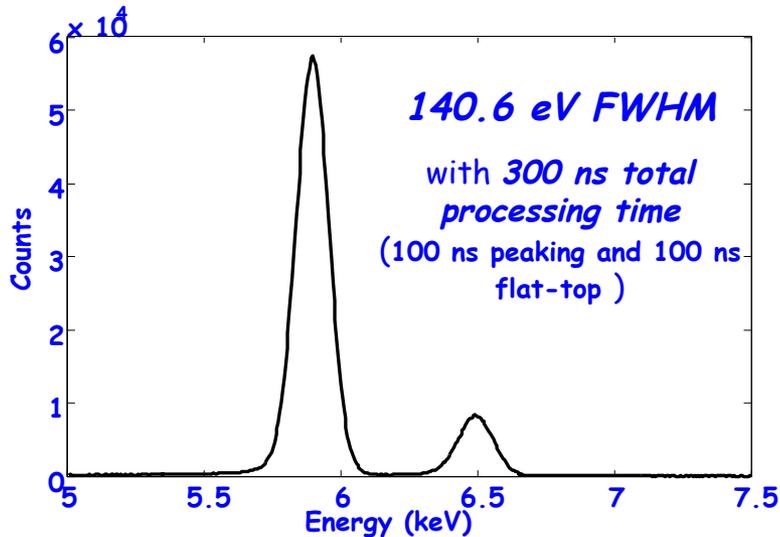
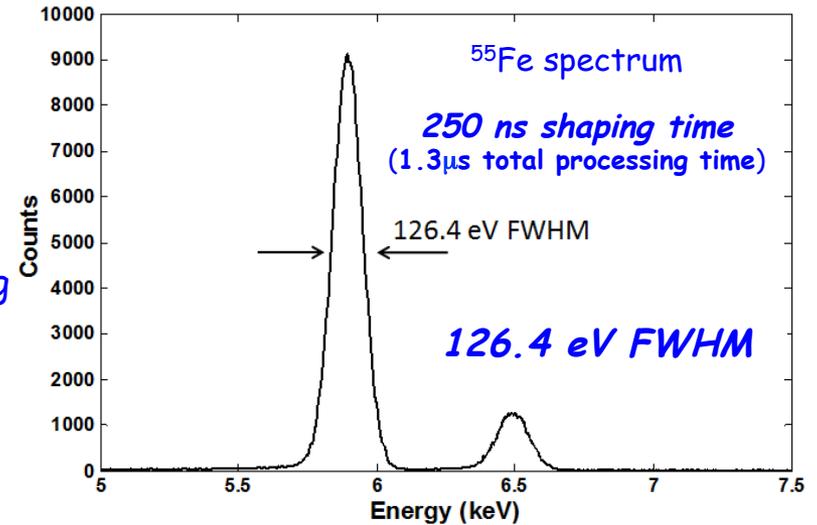


Prestazioni analoghe o superiori (ad alti tassi di conteggio) alla tecnologia SDD con JFET integrato

Base di partenza (2)



Analog
pulse
processing



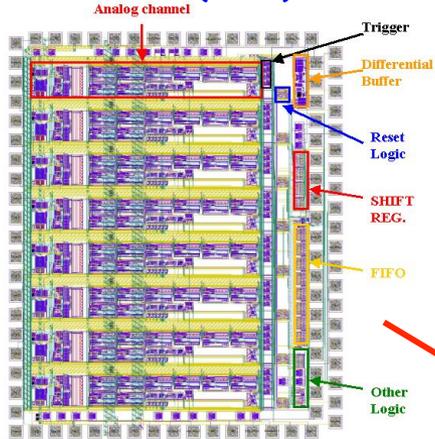
Digital
pulse
processing

SDD characteristics:

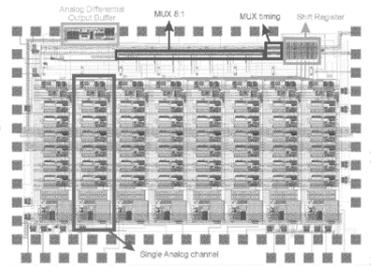
- Area = 10 mm² (round shaped)
- T = -40°C (Peltier cooling)
- leakage about 1 nA/cm² at RT
- uncollimated source

Base di partenza (3)

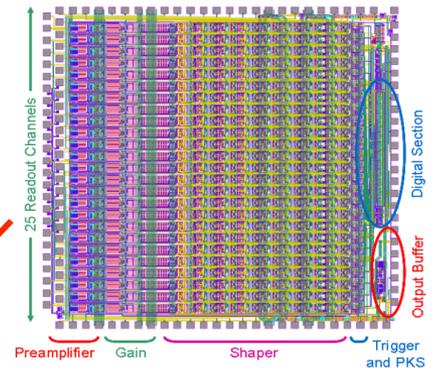
SIDDHARTA (INFN)



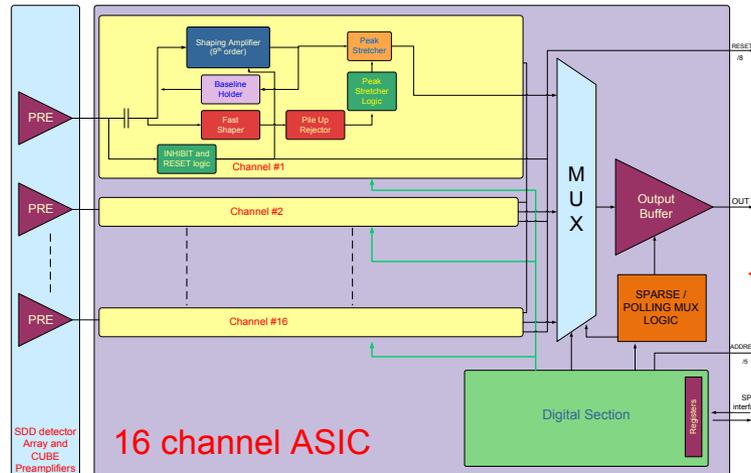
DRAGO (INFN)



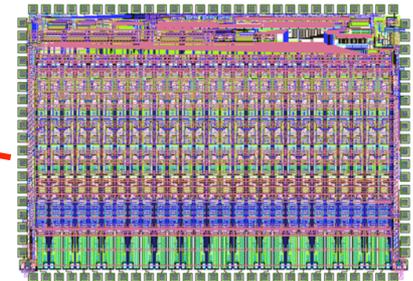
HICAM (EC)



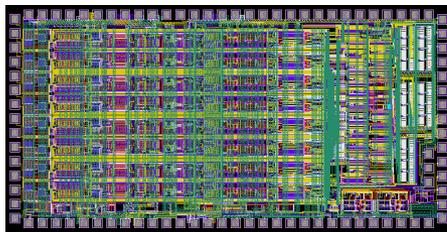
L'ASIC di ARDESIA



SDD-ESA (ESA)



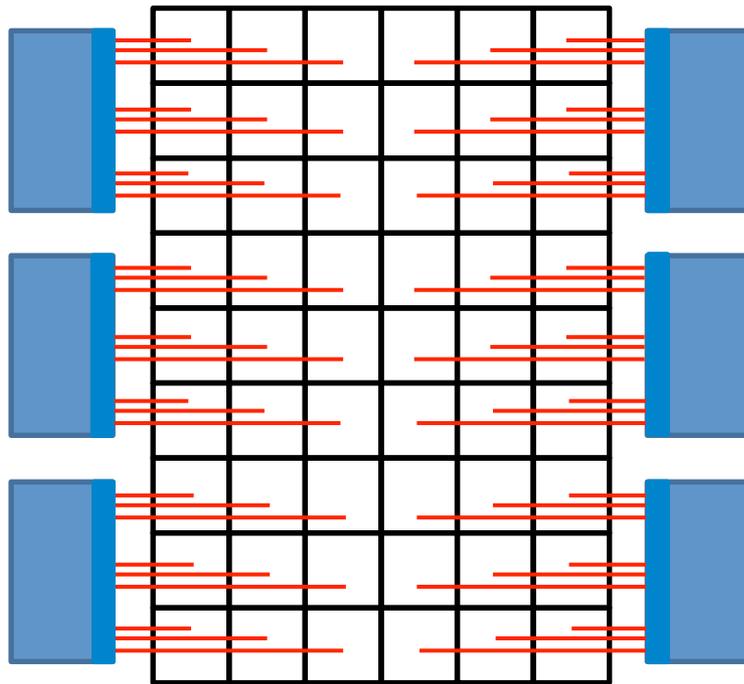
IXO-HTRS (INFN)



- **Premessa:** (Politecnico di Milano e INFN) precedenti ASIC per X e γ (INFN: DRAGO, IXO-HTRS, SIDDHARTA; altri: HICAM, ESA) hanno richiesto design diversi (funzionalità, guadagni, tempi di formatura, tipologie di multiplexing richieste dai DAQ specifici degli esperimenti).
- **Obiettivo:** disegnare un ASIC unico che possa essere utilizzato in uno spettro relativamente ampio di applicazioni, dalla spettroscopia X all'imaging gamma con scintillatori.

Sistemi per spettroscopia X basati su matrici SDD e ASIC

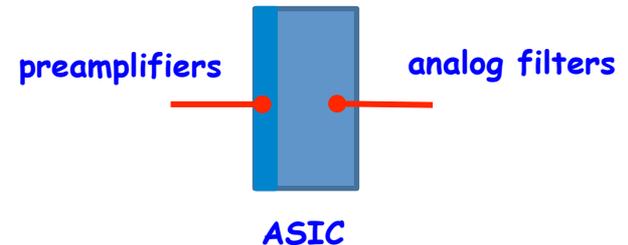
1° approccio: matrici monolitiche di molte unità SDD collegate a ASIC
(es. BNL (USA), REDSOX-INFN,...)



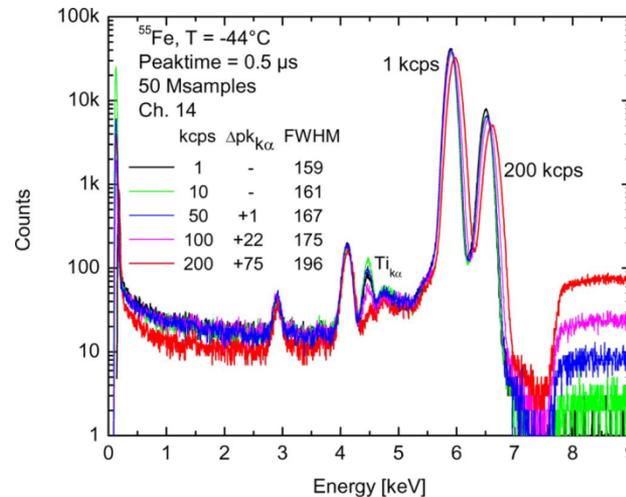
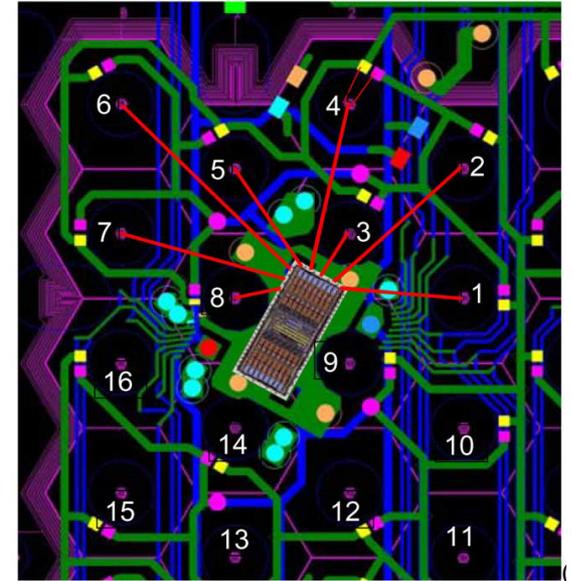
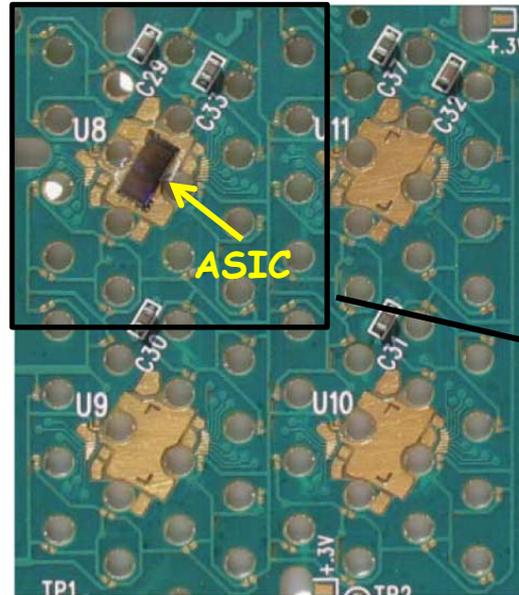
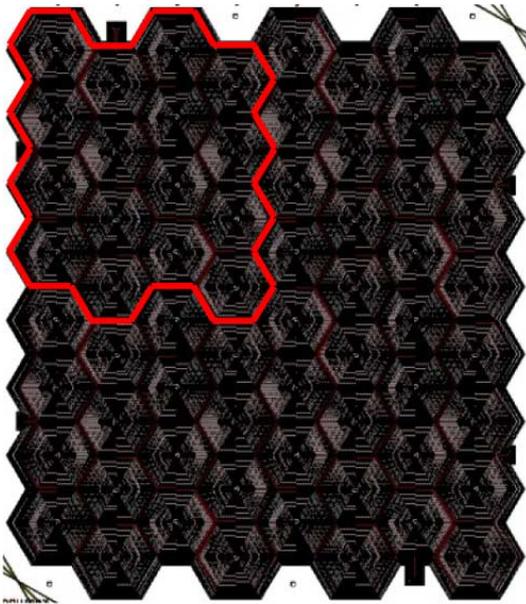
(schema di principio)

Caratteristiche:

- matrici monolitiche con un relativamente elevato numero di SDD di area ridotta (10-20mm²)
- diretto collegamento di ogni SDD con un canale di un ASIC per l'intero processamento del segnale (preamplificatore+filtro)



Sistema BNL (USA)

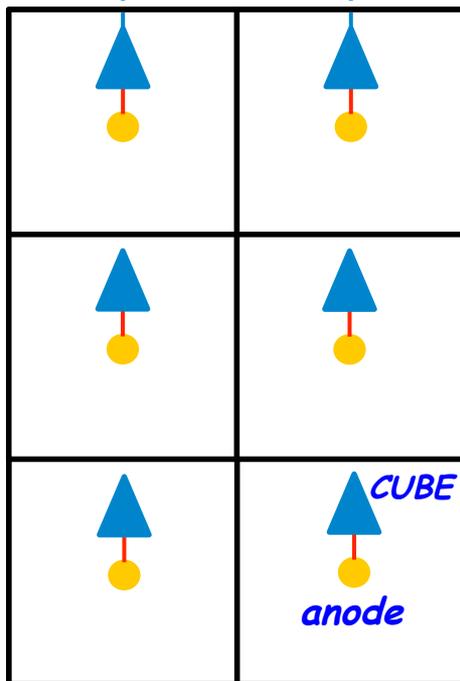


- 64 channels
- $20\text{mm}^2/\text{channel}$
- 12.8cm^2 total area
- 4 ASICs

Sistemi per spettroscopia X basati su matrici SDD e ASIC

2° approccio: matrici monolitiche di poche unità SDD collegate al solo preamplificatore CMOS (CUBE) (es. ARDESIA, sviluppo per ESA)

To external
processing ASIC at (10-100)cm



Caratteristiche:

- matrici monolitiche *con limitato numero* di SDD (5-10) di *grande area* (50-100mm²)
- *diretto collegamento di ogni SDD con il solo preamplificatore* (CUBE)
- la *parte rimanente dell'elettronica* di processamento del segnale (2° ASIC) può essere *collocata lontano*

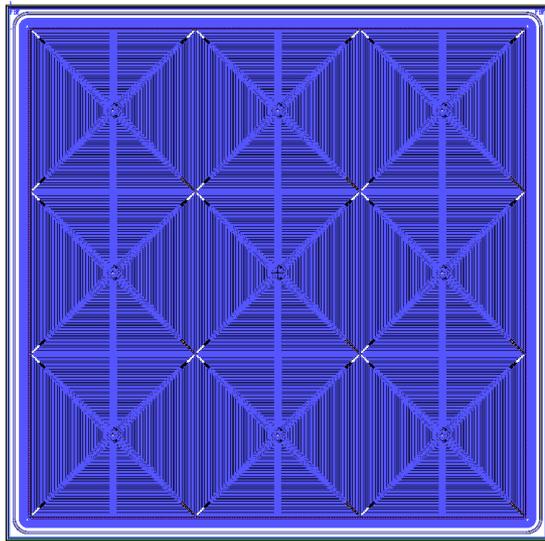
Vantaggi:

- *preamplificatore vicino all'anodo garantisce basso rumore*
- *minore numero di canali*
- *estrema flessibilità* per uso con *diverse unità di processamento dei segnali* (es. ASIC, Digital Pulse Processor, sistemi già esistenti alla beam line, ecc.)

Attenzione:

- *corrente di buio* del SDD di area *più elevata* (→ ottimizz. tecnologia, raffreddamento Peltier)
- *maggiore rate/canale* (ma ottime prestazioni di CUBE a tempi brevi di processamento del segnale)

Sviluppo per ESA (Politecnico di Milano, FBK)



26 mm

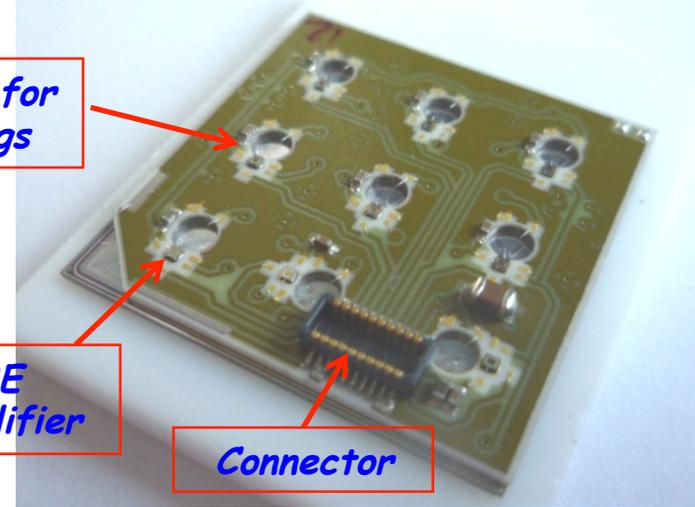
1 mm dead space on each side: **85% active area**

26 mm

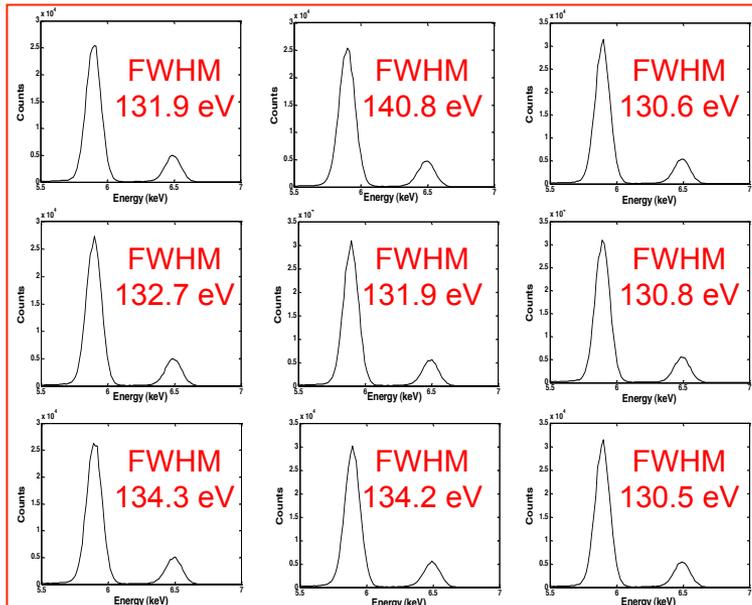
9 holes for bondings

CUBE preamplifier

Connector



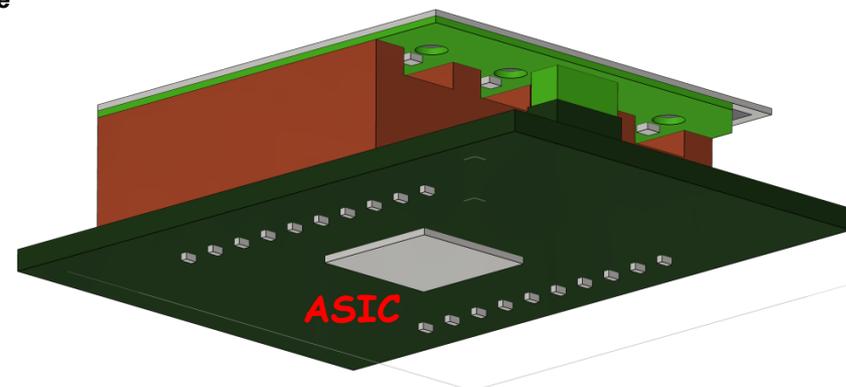
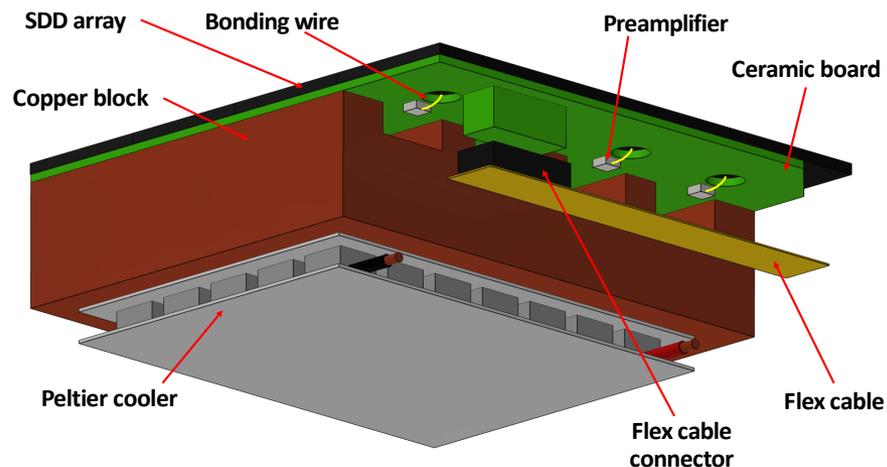
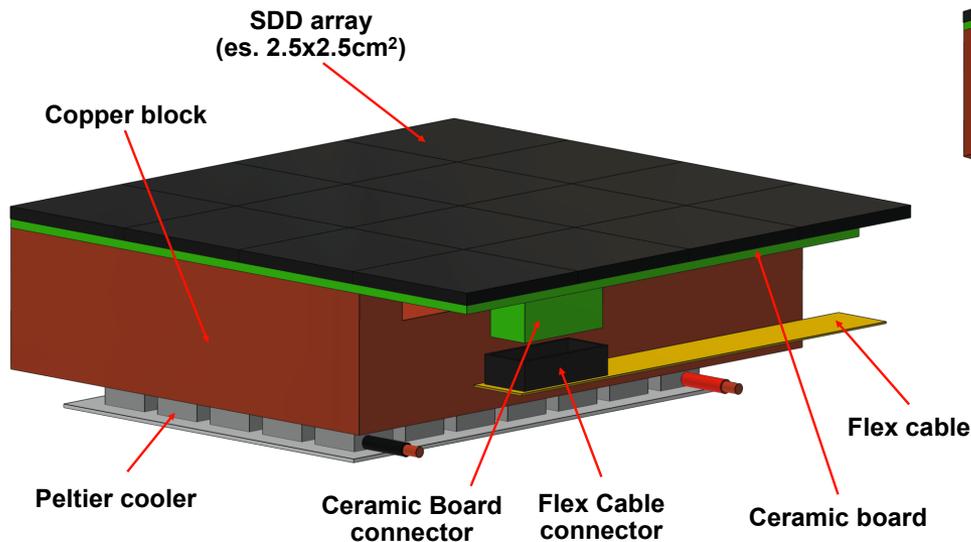
Ceramic carrier



Il modulo di rivelazione ARDESIA

(disegno preliminare)

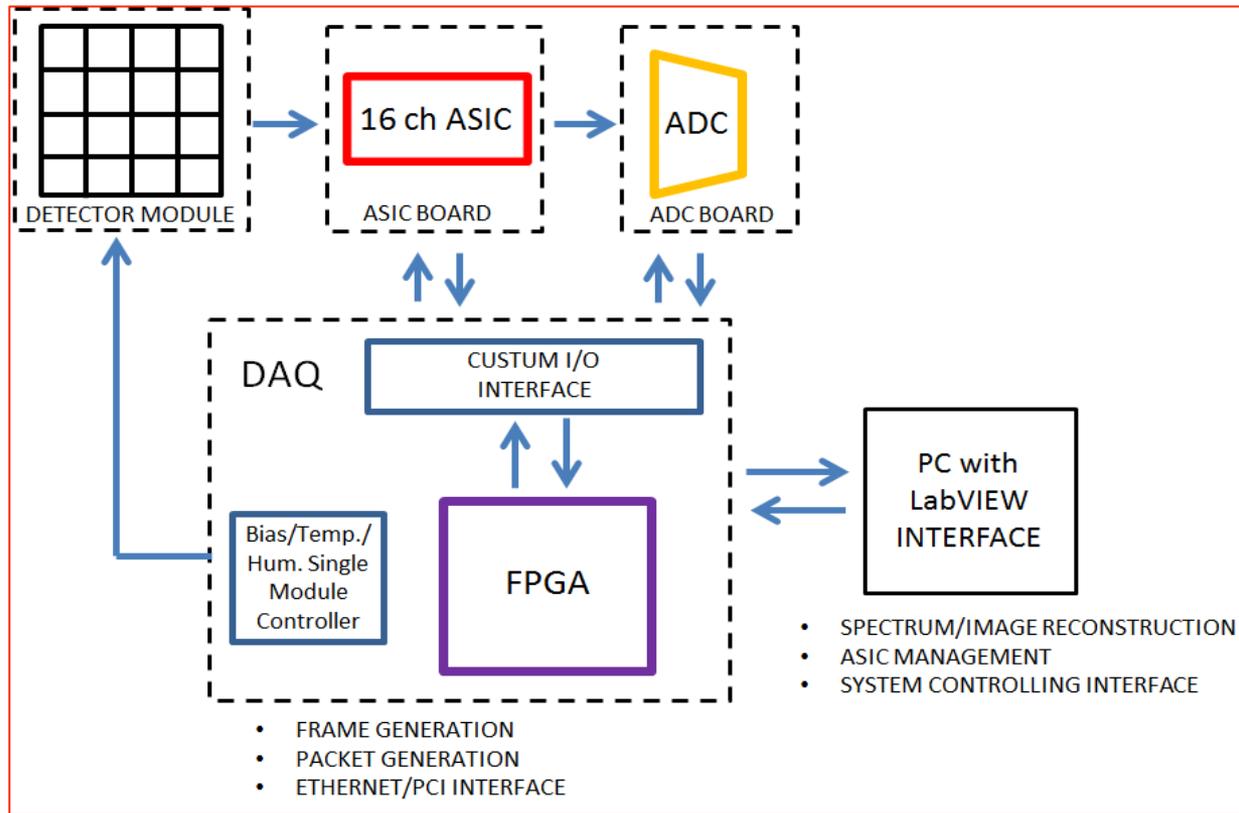
Range energetico per X/ γ
da 200eV a 15MeV (con scintill.)



- 3x3 or 4x4 SDDs
- T ~ -20°C
- 1 CUBE/SDD
- module cross-section *limited by silicon chip only* (no additional dead area)
- one-side biasing

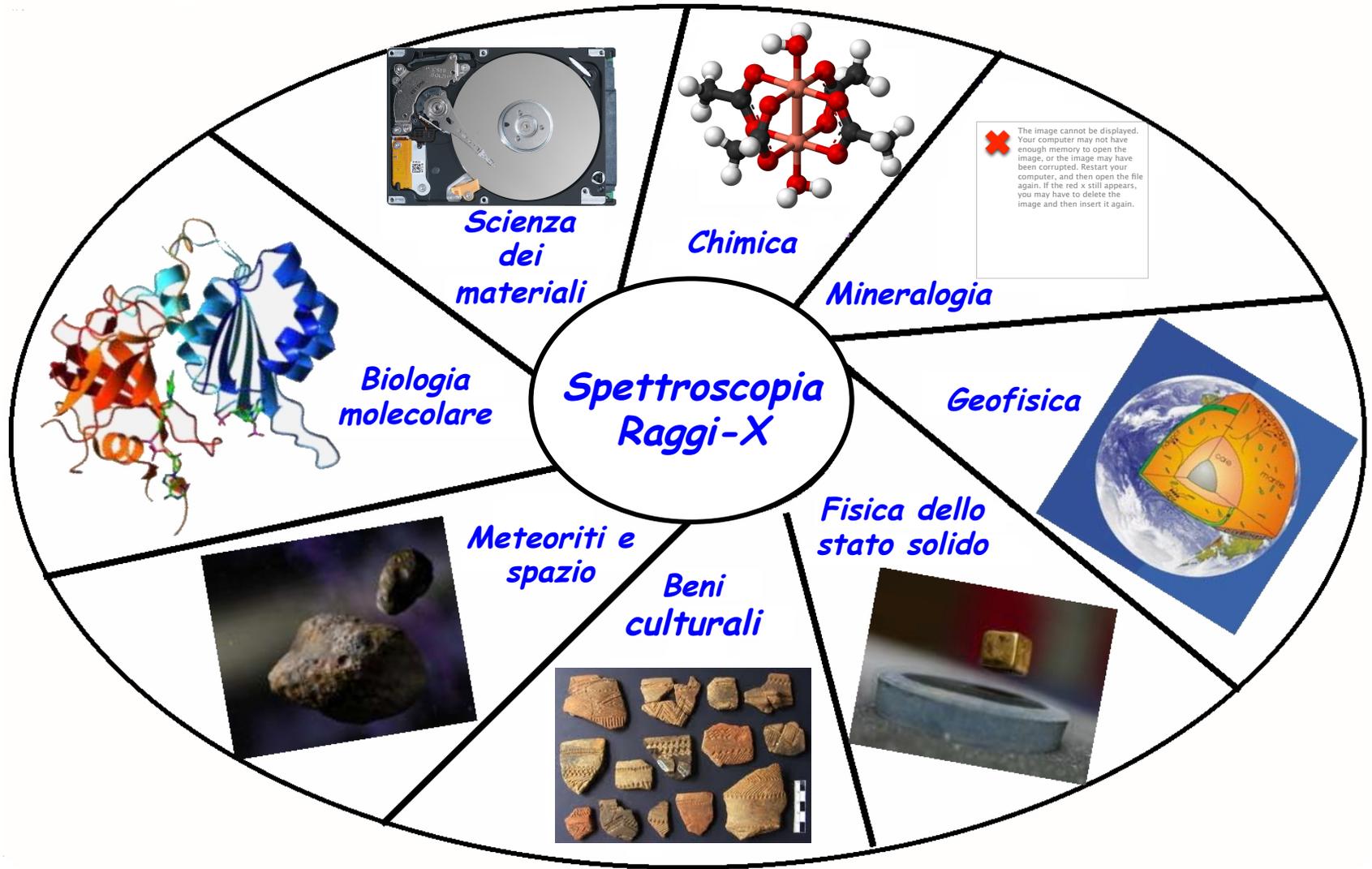
Opzione con scheda ASIC in prossimità

IL DAQ di ARDESIA



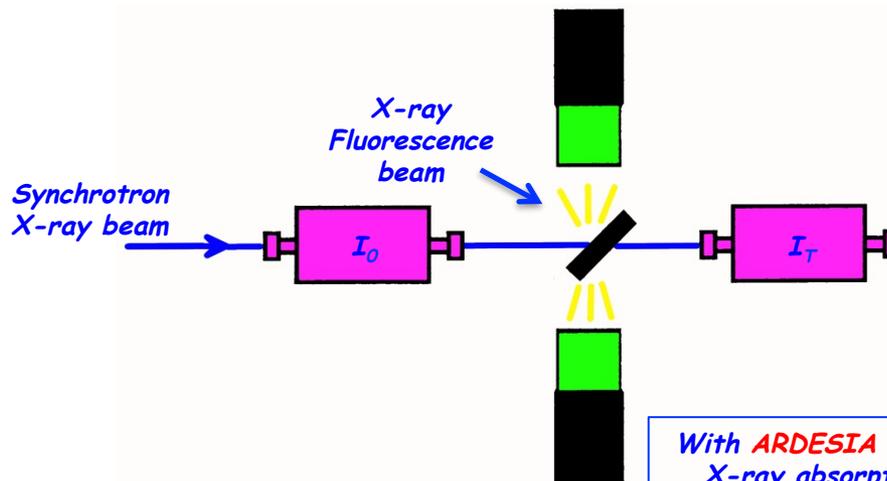
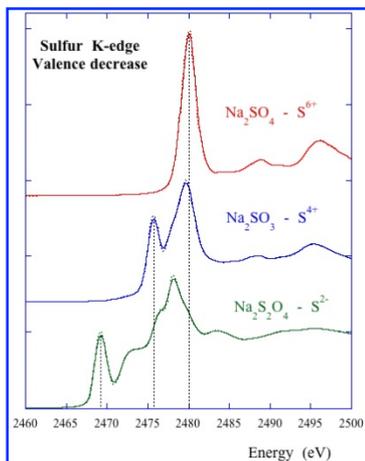
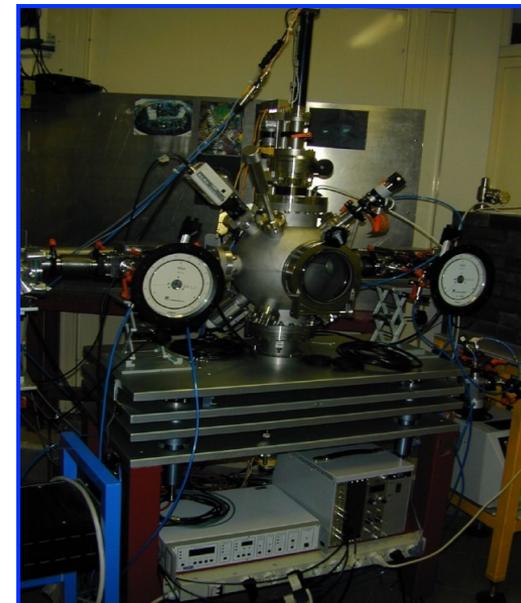
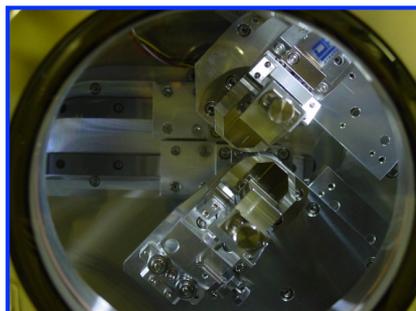
- Un'unico sistema DAQ per le applicazioni previste in ARDESIA
- Disegno basato su componenti hardware/software modulari, a basso costo e facilmente riconfigurabili per coprire le diverse applicazioni.

Applicazioni spettroscopia X



Use of ARDESIA at DAΦNE-Light soft X-ray beamline (DXR1)

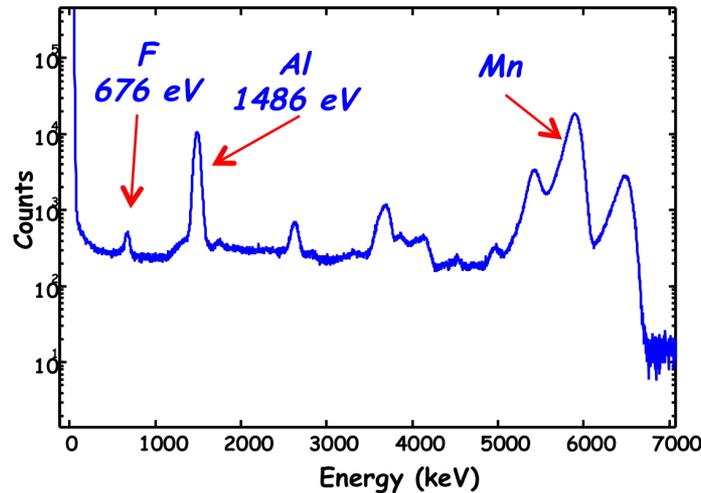
- Wiggler soft x-ray beam line
- Working range 0.9 - 3.0 keV
- TOYAMA double crystal monochromator with KTP (011), Ge (111), Si (111), InSb (111) and Beryl (10-10) crystals
- Soft X-ray absorption spectroscopy and tests of optics and detectors.



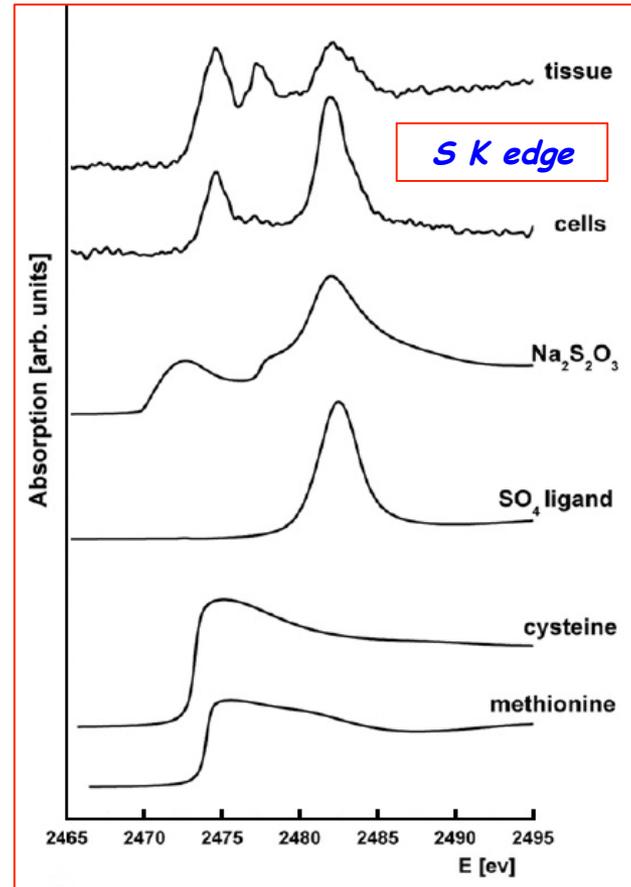
- ARDESIA detector:**
- large area (5-10cm²)
- max count rate (~1Mcps/cm²)
- shorter meas. times
- larger S/N
- interest also from:**
- GILDA (ESRF)
- DIAMOND (UK)

With ARDESIA the chance to study dilute samples using X-ray absorption spectroscopy in fluorescence mode

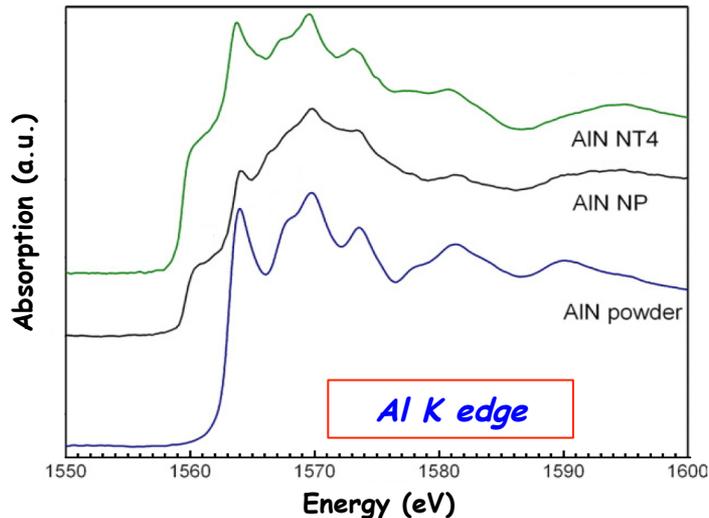
Applicazioni sulla linea DXR1



Low energies - Sample composed by Al, F and other materials irradiated with ⁵⁵Fe source - Single 8 x 8 mm detector (64 mm²) (Politecnico di Milano).

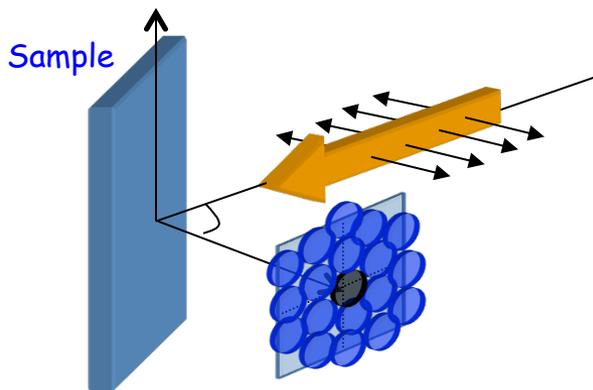


Possibility to increase S/N ratio in measurements on biological samples and metal (low wt %) nanoparticles



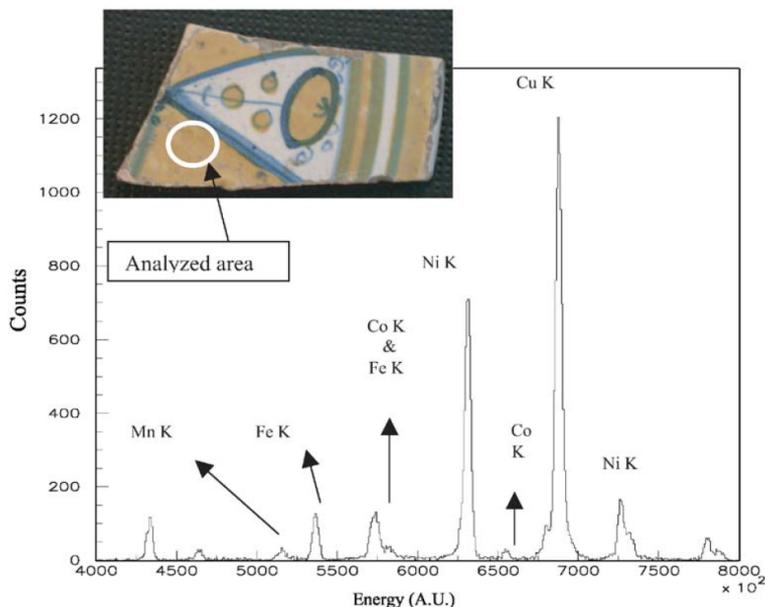
For low energies (<20keV), Silicon is a near-ideal detector material offering advanced processing technologies including the fabrication of on-detector low-noise electronics.

XRF and XAFS

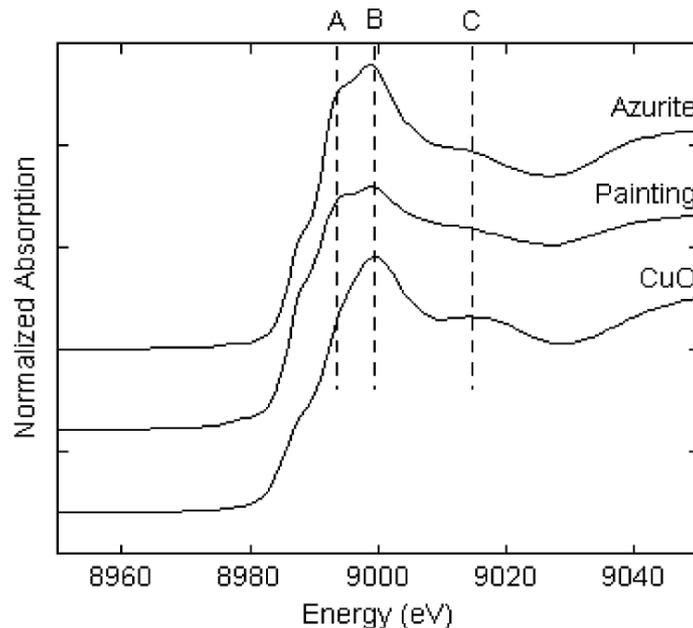


SDD detector for XAFS measurements in fluorescence mode very useful for:

- studies on dilute samples (biological applications, nanomaterials etc).
- thin films on thick supports like paintings on ceramics (cultural heritage) or supported graphene-like materials (Silene) (technological applications).



XRF gives the atoms present in the sample.



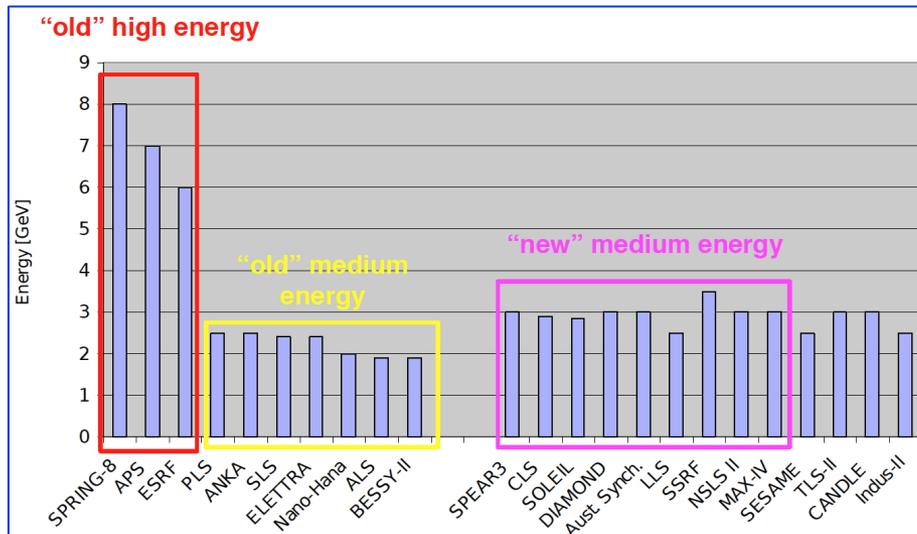
XAFS in fluorescence mode gives their electronic and structural properties.

Multi-element detectors are very useful but geometric considerations and practical challenges of making individual detector channels operate in a truly independent manner must be taken into consideration.

Synchrotron radiation facilities

Certe spettroscopie sono state sviluppate solo grazie alle peculiari proprietà della luce di sincrotrone.

18 in America
25 in Asia
25 in Europe
1 in Oceania
including facilities under design and FELS



Un rivelatore come quello proposto da ARDESIA può essere usato per applicazioni con raggi X presso diversi sincrotroni e ha un notevole impatto tecnologico!

Silicon drift detectors are widely used in experiments performed at synchrotron radiation facilities. Silicon drift detector systems are light and compact, do not require the use of liquid nitrogen, and offer a good energy resolution at high counting rate. For these reasons a number of commercial systems are used worldwide in experiments that require the detection of X-ray fluorescence.

In order to improve the solid angle coverage and increase the throughput, arrays of silicon drift detectors have been realized. Diamond Light Source is considering a large array of such detectors for beam lines performing fluorescence experiments. This will enable to address the two aforementioned issues.

Packaging and interconnections play a major role in determining the feasibility of detector systems when large arrays of detectors are involved because of constraints such as space availability. The development project ARDESIA, of the polytechnic of Milan, addresses brilliantly the packaging and interconnections issues. Multichannel monolithic sensors enable a higher fill factor than those achieved using arrays of individual silicon drift detectors. In addition the use of the CUBE preamplifiers considerably simplifies the interconnections and the packaging of the front-end electronics. Diamond Light Source is then very interested in this development as it might be used very effectively in experiments performed at synchrotron radiation facilities.

Nicola Tartoni



Head of the detector group at Diamond Light Source

Grenoble, 10 Luglio 2013

A chi di competenza

La beamline GILDA, operativa presso l'European Synchrotron Radiation Facility di Grenoble (Francia) è un laboratorio di luce di sincrotrone dedicato ad esperimenti di spettroscopia di assorbimento di raggi X. Tra le sue attività si trova lo studio di materiali diluiti per i quali un efficiente sistema di raccolta di fluorescenza di raggi X si rivela fondamentale.

In particolare si ha interesse a disporre di un rivelatore capace di raccogliere una frazione considerevole di angolo solido attorno al campione (alcuni sr) e con una risoluzione energetica minore della distanza tipica tra le righe di emissione di elementi contigui nella tavola periodica (a partire dal 4 periodo, circa 200eV). In questo contesto, il progetto di rivelatore proposto da ARDESIA si rivela particolarmente adatto agli studi che si svolgono a GILDA e di conseguenza la beamline esprime un considerevole interesse in questa attività.

In caso di finanziamento del progetto, GILDA potrebbe fornire una quota di tempo macchina per test in un'ampia finestra energetica (6-60 keV) e realizzare esperimenti pilota su materiali diluiti e film sottili.

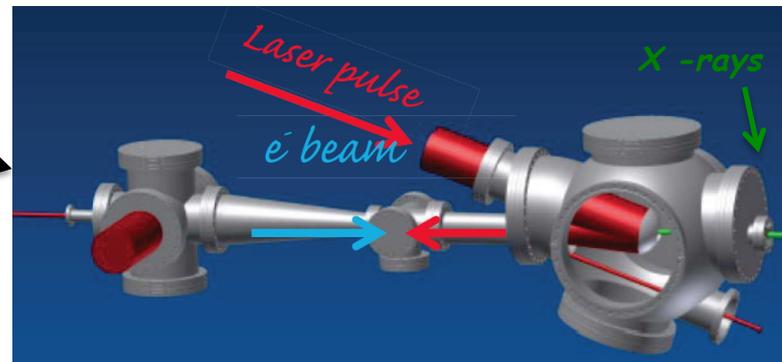
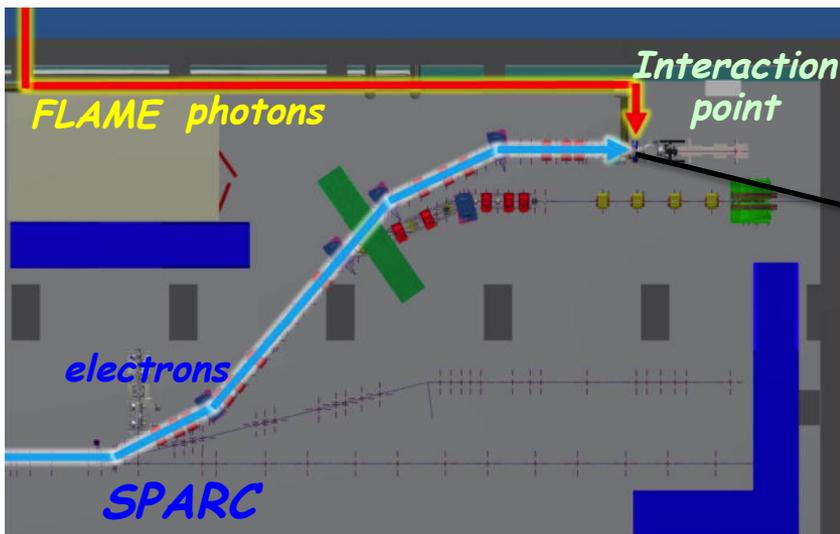


Francesco d'Acapito

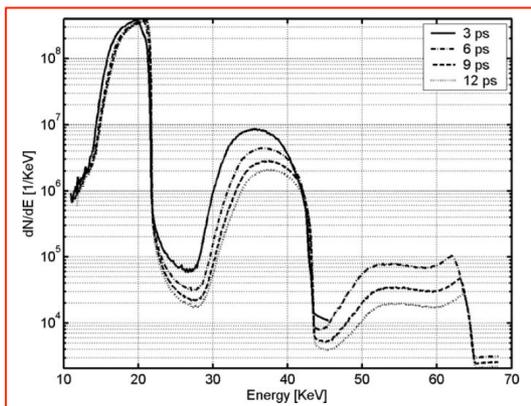
CNR-IOM-OGG

co-responsabile del progetto GILDA

Thomson source - SPARC Lab

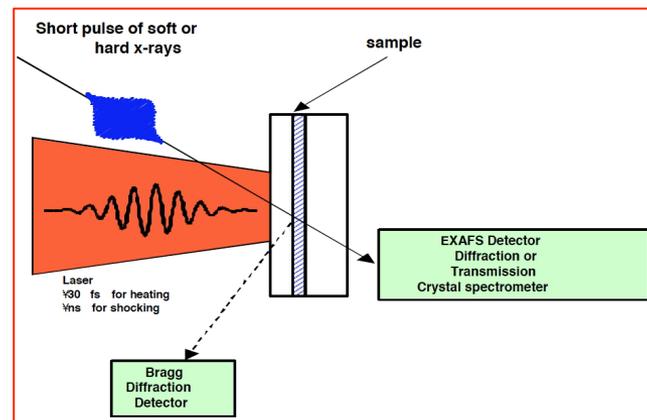


- Energia fotoni variabile fra 20 e 500keV
- Dimensione sorgente (FWHM): 10 μm
- Flusso: 10^9 fotoni/impulso
- Struttura temporale: Bunch da $25 \text{ fs} \leq \tau_L \leq 10 \text{ ps}$, rep. rate 10 Hz
- Spettro quasi-monocromatico con presenza di armoniche



Raggi X ottenibile da interazione tra fotoni del laser di potenza con elettroni da 30 MeV (Calculations).

For applications, e.g., ultra-fast pump-probe X-ray spectroscopy and a preparation stage for XFELs.



ARDESIA and the Thomson source

L'utilizzo di una sorgente Thomson in ARDESIA fornisce la possibilità *di effettuare una caratterizzazione della risposta dei rivelatori SDD con impulsi di raggi X ultra-corti* (decine di ps).

Le *piccole dimensioni del fascio*, consentirebbe di studiare la risposta del rivelatore SDD in *dipendenza dal punto di irraggiamento* e, di conseguenza, del *tempo di deriva della carica dalla sua generazione in tale punto fino all'anodo di raccolta*.

L'allargamento temporale del pacchetto di carica durante il trasporto della stessa, e di conseguenza il suo impatto sulla forma del segnale elettronico in uscita, può essere così studiato molto in dettaglio grazie alla possibilità di generare *una carica di profilo pressoché deltiforme* nel rivelatore, come può essere ottenuta con un impulso X ultra rapido disponibile dalla sorgente Thomson.

Il rivelatore di ARDESIA potrebbe anche essere usato per determinati esperimenti in cui si vuole *un feedback sul campione ottenibile monitorando la sua fluorescenza X*.

Originalità, innovazione del progetto e la sua relazione con lo stato dell'arte.

ARDESIA genererebbe un modulo di rivelazione basato su SDD, con elettronica e DAQ associati, attualmente non disponibile e caratterizzato da:

- prestazioni superiori allo stato dell'arte (e da unità singole → matrici)
- un modulo di grande area (5-7cm²), unito alla disponibilità dell'elettronica (ASIC+DAQ), non trova un corrispettivo sistema presso i principali produttori commerciali di SDD (PNSENSOR, KETEK, Amptek, Canberra, SII..)
- basso costo di sviluppo (interamente italiano)

La sua versatilità e compattezza ne consentirebbero un ampio utilizzo dalla ricerca di base ad applicazioni tecnologiche ed industriali:

- ricerca di base: fisica nucleare, astrofisica, meccanica quantistica, ...
- ricerca applicata: sincrotrone, medicina nucleare, ...
- industria: microanalisi per SEM, strumentazione XRF, ...

Attività previste nel progetto

- **Sviluppo di un modulo di rivelazione 'versatile'** basato su matrice *SDD+CUBE*
 - miglioramento del processo SDD (corrente di leakage,...)
 - geometria del rivelatore SDD (trade-off dimensione unità \leftrightarrow prestazioni, riduzione tempo di drift, deficit ballistico, riduzione aree morte,...)
 - disegno modulo con bassa area morta per affiancamento ottimale di matrici
 - affidabilità, assemblaggio e interconnessione, raffreddamento (Peltier, criog.)
- **Sviluppo dell'elettronica di lettura (ASIC) e del sistema di acquisizione (DAQ)**
 - sviluppo di un ASIC unico per utilizzo sia in rivelazione X che γ e con architettura di multiplexing flessibile (lettura 'sparse', lettura 'polling')
 - DAQ versatile per utilizzo modulo ARDESIA nelle diverse applicazioni X e γ
- **Sperimentazione nelle applicazioni previste (ed eventuali altre):**
 - installazione ARDESIA e sperimentazione con luce di Sicrotrone (DXR1-LNF, GILDA-ESRF, DIAMOND-UK) in misure di spettroscopia X con elevata risoluzione ed elevati tassi di conteggio
 - misure di spettroscopia ed imaging γ con scintillatori LaBr_3 di grande volume

Unità partecipanti

- **INFN-Milano (Carlo Fiorini, Resp.Naz.)**

Ruoli e compiti: modulo di rivelazione, elettronica integrata, cooperazione allo sviluppo del DAQ, supporto alla sperimentazione nelle applicazioni, misure di spettroscopia e imaging gamma con scintillatori LaBr_3 di grande volume, supervisione del disegno e della produzione di matrici di rivelatori Silicon Drift Detectors (sviluppo presso FBK a Trento).

- **INFN-LNF (Antonella Balerna, Resp. Locale).**

Questa unità comprende : DAFNE-Luce, SIDDHARTA, Thomson source

Ruoli e compiti: sviluppo DAQ (SIDDHARTA), sperimentazione rivelatori per spettroscopia X (bassa temperatura, stabilità linearità, bassa radioattività, ecc.), installazione di moduli di rivelazione presso le linee di luce di sincrotrone DXR1 (LNF) e GILDA (ESRF) e conduzione di esperimenti di caratterizzazione.

C.Fiorini (PO)	0.6FTE
G. Ripamonti (PO)	0.4FTE
S. Agosteo (PO)	0.2FTE
D. Giove (PA)	0.2FTE
A. Fazzi (PA)	0.2FTE
P.Busca (Assegnista)	1.0FTE
B.Nasri (Dottorando)	1.0FTE
M.Occhipinti (Dottorando)	1.0FTE
P.Trigilio (Dottorando)	1.0FTE
Totale	5.6 FTE

A.Balerna (Primo Ricercatore)	0.4FTE
E.Bernieri (Ricercatore)	0.3FTE
S.Mobilio (PO)	0.6FTE
C. Vaccarezza (Primo Tecnologo)	0.1 FTE
M. Iliescu (Ricercatore)	0.1FTE
I.Tucakovich (Dottoranda)	0.2FTE
M.Bazzi (Tecnologo)	0.2FTE
A.D'Uffizi (Tecnologo)	0.1FTE
E.Sbardella (Borsista)	0.2FTE
Totale	2.2 FTE

- Va confermata la partecipazione formale di **TIFPA** (Trento)

Richieste ai Servizi dei LNF

Siccome il rivelatore verra' usato in *applicazioni con Luce di Sincrotrone*, verranno chiaramente richieste le specifiche competenze relative al *vuoto, meccanica, elettronica e software* del *Servizio Luce di Sincrotrone*.

Durata e previsione totale fondi richiesti a CSN5.

Durata del progetto 3 anni.

Unità	I anno	II anno	III anno	TOT
MI-INFN				
Consumo	102.5*			
Inventario	13			
Missioni	11			
TOT Unità	126.5*	123.5*	40	290
LNF				
Consumo	11	21	10	42
Inventario	7	15	10	32
Missioni	8	8	10	26
TOT Unità	26	44	30	100
TOT progetto	152.5	167.5	70	390

I costi in tabella sono indicati in keuro.

* (include 50keuro rivelatori FBK)

Grazie per la vostra attenzione!