

# Rivelatori e Apparati

Slides\_11 – Imparare dagli errori, Prospettive di ricerca

# Esperienze ed errori

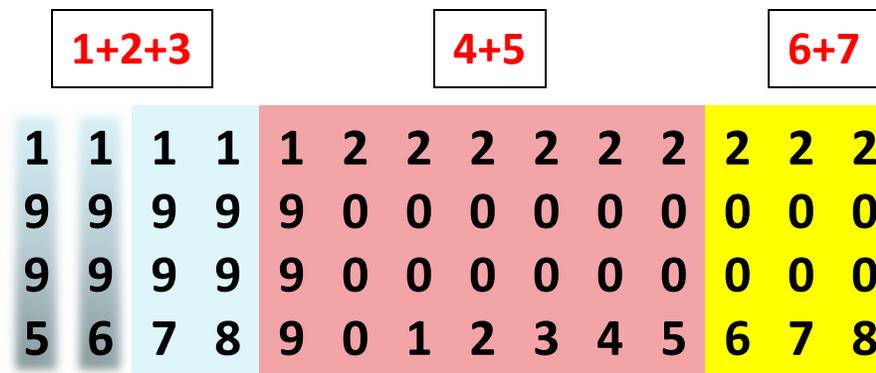
- ATLAS (1a versione)
  - Adattato da presentazione di Giuseppe Rossi
- STAR HFT

# La storia (date principali)

- ATLAS Technical Proposal: (12/94):
  - Descrizione generale dei componenti del tracciatore ( con dati di prototipi, ma poco dettaglio di sistema)
  - Ancora molte alternative tra rivelatori (e.g. silicon strip vs. MSGC, b-layer a Pixel o a strips, etc.)
- ID Technical Design Report (4/97):
  - Le alternative si restringono all'interno dei sottorivelatori (e.g. strip single sided o double sided). Il lavoro sul rivelatore visto come un sistema procede.
  - Le collaborazioni dietro a ciascun rivelatore ha preso chiare responsabilita'.
- Pixel Technical Design Report (5/98):
  - Due opzioni per ogni item importante (moduli, staves, etc.), molto lavoro fatto sul layout, sulla meccanica e il raffreddamento (ma molto da fare).
- .....
- Installazione completa del tracciatore in ATLAS (8/07)
- Commissioning ~completo ora (11/08)

**12 anni!**

- Il processo di produzione del tracciatore di ATLAS e' passato attraverso le seguenti fasi principali:
  1. Definizione di baselines (specifiche → prototipi → QC (misure in lab, irraggiamento, misure su fascio) → peer reviews)
  2. Definizione del modello di produzione e sua verifica (Production Readiness Review) eventualmente periodica.
  3. La pre-produzione di un campione rappresentativo (O 10%) e la sua verifica dettagliata
  4. La produzione (inclusi controlli di qualita' memorizzati in database)
  5. Eventuali problemi e cicli correttivi
  6. Integrazione, tests
  7. Installazione e commissioning senza fascio
- Il tempo di produzione (4+5) e' circa la meta' del totale
  - nota: la produzione dei vari sottosistemi e' asincrona (TRT ha iniziato prima di Pixel), quindi il tempo di produzione di un sottosistema e' minore di quanto indicato sotto (del ~30%)



# Selezione tra le alternative

- E' inevitabile che ci siano alternative proposte per (quasi) ogni parte di un nuovo rivelatore:
  - Legate alla storia/competenze/ambizioni di ciascun gruppo (o individuo)
  - Necessario un meccanismo efficiente per ridurre il numero in breve tempo, che pero' rispetti i canoni accettati dalla comunita' (quindi: prototipi, misure e peer review). Cio' nonostante e' una fase di stress per le collaborazioni.
  - Puo' essere una fase che e' possibile comprimere, se motivi di schedula lo impongono (ma chi non e' pronto per un confronto tendera' a ritardare la decisione, sacrificando, cosi, il commissioning – l'ultima contingenza-)
- Ci sono 2 tipi di alternative:
  - A. Tra rivelatori di tipo diverso che svolgono la stessa funzione ad esempio tra microstrip al silicio e MSGC. In questo caso le 2 comunita' sono diverse e disconnesse (e.g. vanno a conferenze diverse). Questi sono i casi piu' delicati perche' e' possibile che i gruppi perdenti abbandonino la collaborazione.
  - B. Tra soluzioni compatibili all'interno di un rivelatore (e.g. single sided vs double sided microstrips o flex hybrid vs MCMD per i moduli pixel). Alcune scelte sono anche qui delicate (SS vs DS e' un buon esempio...)

# alternativa di tipo A

- Silicon microstrip vs gas microstrips:
  - Una tecnologia considerata matura vs una tecnologia che potrebbe essere vantaggiosa, ma non e' abbastanza provata.
- Si e' risolta ancora nella preistoria di ATLAS favorendo la tecnologia matura (che quindi ha anche una comunita' piu' estesa e strutturata)
  - All' ATLAS TP (12/1994) entrambe, all' ID TDR (4/1997) solo silicio
  - La scelta e' stata (abbastanza) consensuale, non si sono persi gruppi (ma individui particolarmente legati alla tecnologia MSGC).
- CMS ha fatto la stessa scelta ~ 2 anni dopo
  - Probabilmente perche' la comunita' MSGC era piu' influente in CMS
- Queste scelte vanno fatte prima del TDR perche':
  - bloccano molte attivita' (supporti e servizi)
  - disperdono risorse (umane e finanziarie)

# alternative di tipo B

- Spesso ancora presenti al TDR e risolte prima della produzione.
- E.g. quando sono state fatte le scelte per le Pixel baseline?
  - Disegno del sensore (p-stop vs p-spray) → Nov 98
  - Chip di front-end (che architettura? che tecnologia?) → solo la tecnologia deep-submicron (IBM) e' rimasta dal 2001, le differenze architetturali erano state superate con workshop e prototipi
  - Ibridizzazione modulo pixel (flex vs MCMD) → Feb 99
  - Bumping (inizialmente 4 ditte/3 tecnologie) → solo AMS e IZM sono rimaste dopo il 2001. Usate entrambe (back-up, concorrenza, tempi di realizzazione)
  - Disegno dei supporti (Stave/settori) → Sept 99
- Quindi abbiamo tenuto aperte alternative per periodi che vanno da pochi mesi e 3 anni.
  - In questo caso le scelte sono state condivise e non hanno generato nessun effetto di lungo termine sulla collaborazione.

Pixel TDR 5/98

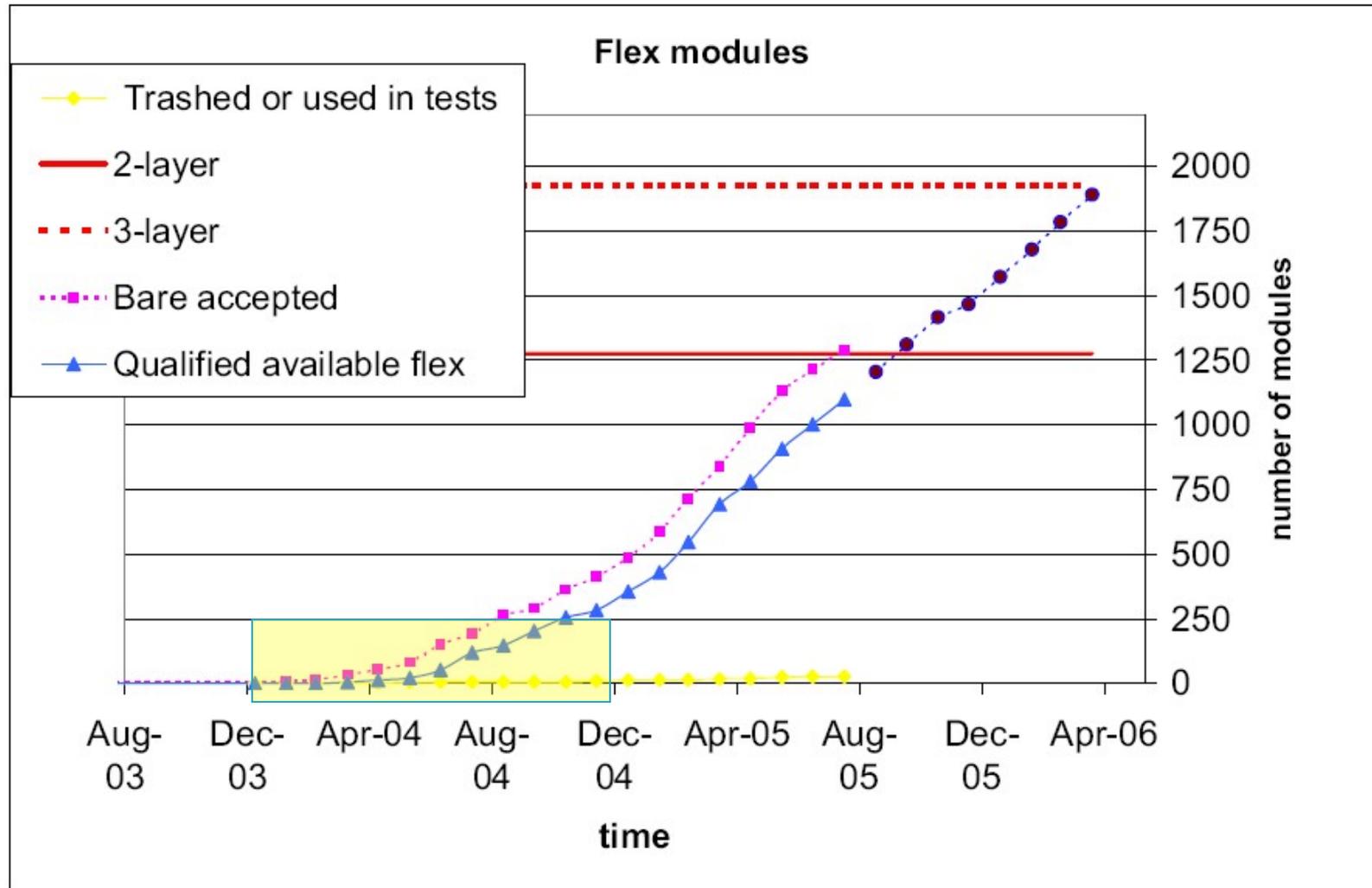
# Esempio di alternativa imposta da un problema

- Nel 2000 si vide che il rendimento della tecnologia DMILL non era accettabile per il front-end Pixel (<1%) e non era molto soddisfacente (~25% con grandi fluttuazioni) per l'SCT.
- L'unica alternativa era DeepSubMicron 0.25 $\mu$ m (provata rad-hard da poco)
  - Pixel (che non poteva fare altrimenti) ha deciso di usare DSM  $\rightarrow$  la scheda di produzione viene ritardata di almeno un anno  $\rightarrow$  modifica della procedura di montaggio del rivelatore (insertabile Pixel) in modo da poterlo aggiungere alla fine del montaggio di tutto l>ID (e non attaccato al barrel come nel TDR)
  - SCT ha deciso di continuare con DMILL per conformarsi alla scheda di LHC (che a quel momento prevedeva le prime collisioni nel 2005) e perché non avevano ancora un disegno di un amplificatore CMOS a bassa potenza.

# Dalle decisioni alla produzione

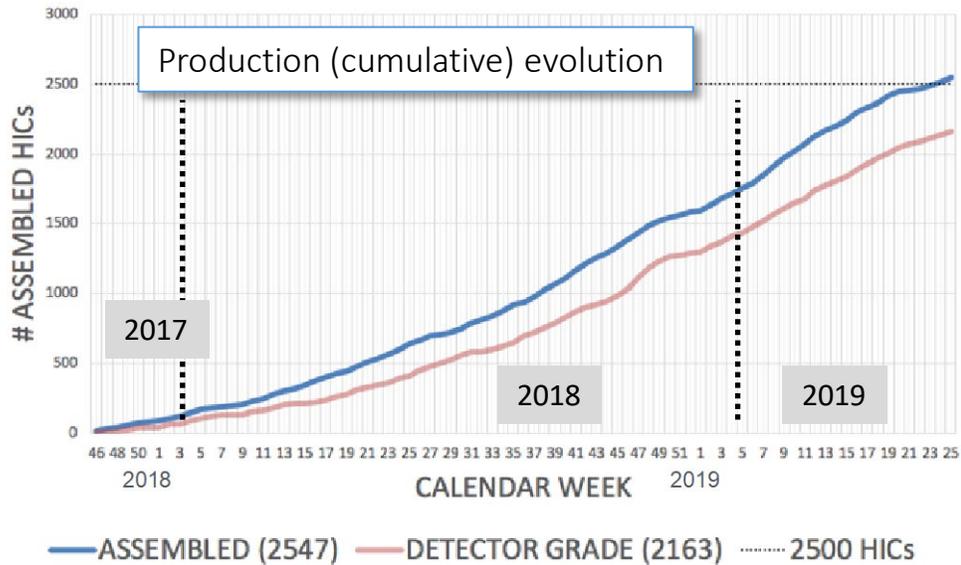
- Una volta scelta una soluzione (per prudenza chiamata baseline) inizia un processo di verifica delle specifiche che culmina con un FDR e poi PRR.
- Qualche esempio (sempre per il progetto Pixel)
  - Sensori (1<sup>mo</sup> prototipo finale 12/99 ; 1<sup>mo</sup> wafer di produzione 3/02)
  - Elettronica FE (1<sup>mo</sup> chip a specifica: 1/02, 1<sup>mo</sup> wafer di produzione 1/04)
  - Bumping (1<sup>mo</sup> full size module 5/02; 1<sup>mo</sup> production module 1/04)
- Quindi un paio di anni sono stati necessari per passare dalla sicurezza di avere una soluzione alla produzione di serie
  - Una parte importante di questo tempo e' necessario per le prove di irraggiamento (importante avere facilities disponibili al momento necessario)
  - Quanto piu' la tecnologia e' spinta (cioe' fuori standard) tanto piu' lungo e' questo tempo

- L'inizio della produzione e' sempre lento (curva del pittore)

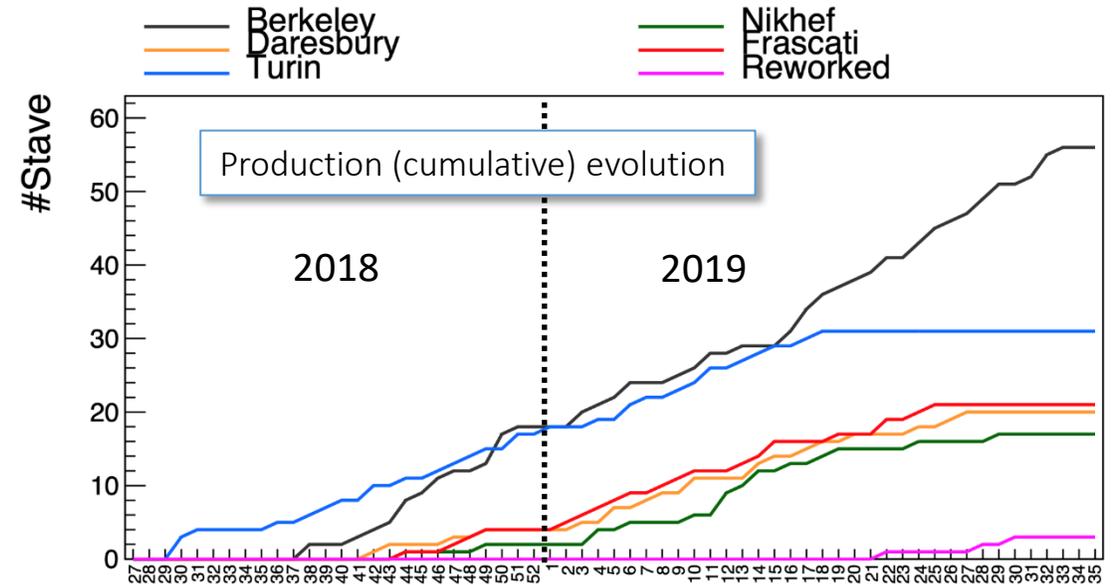


Per il primo 10% occorre il ~40% del tempo totale di produzione

# Confronto con produzione ALICE ITS Upgrade

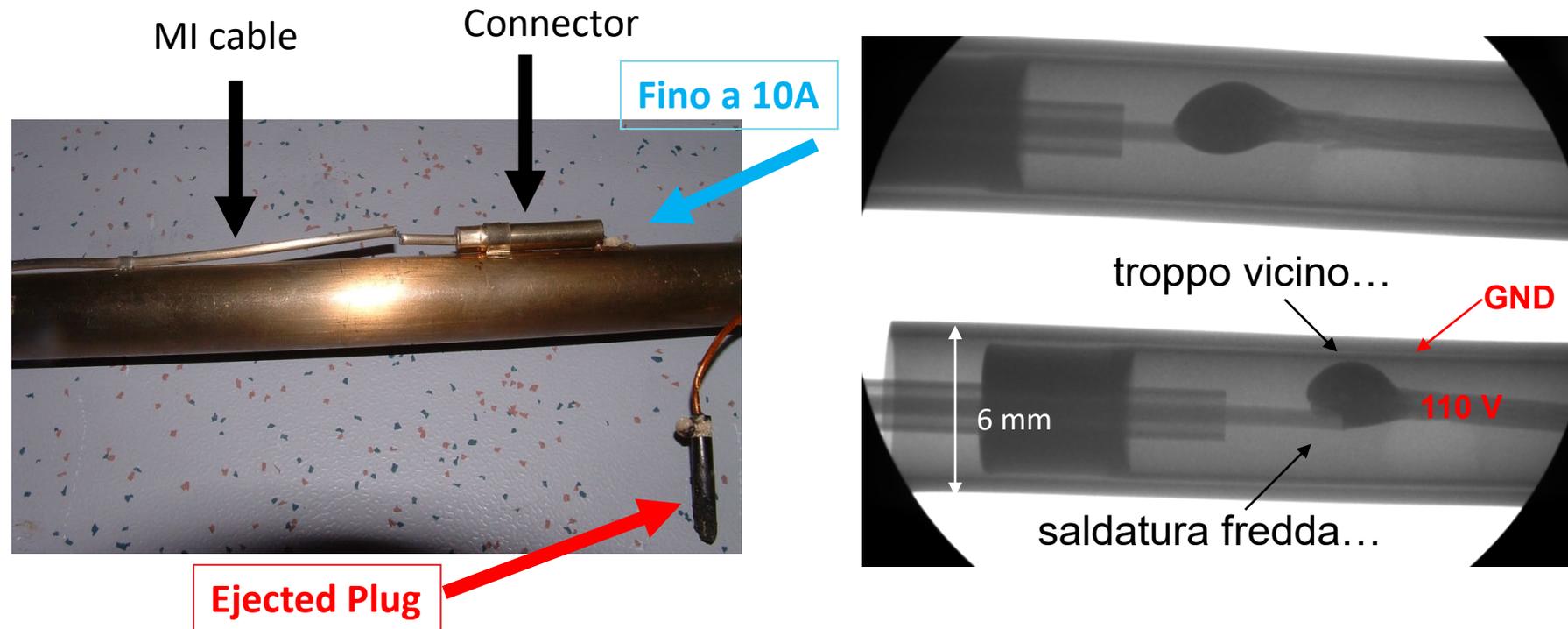


Moduli



Stave

- Vediamo adesso in dettaglio il problema che ha avuto il maggior impatto sulla schedula del tracciatore di ATLAS.
- 19/2/07 esplosione del connettore di un heater (evap. cooling) durante il commissioning del barrel SCT nel pozzo.



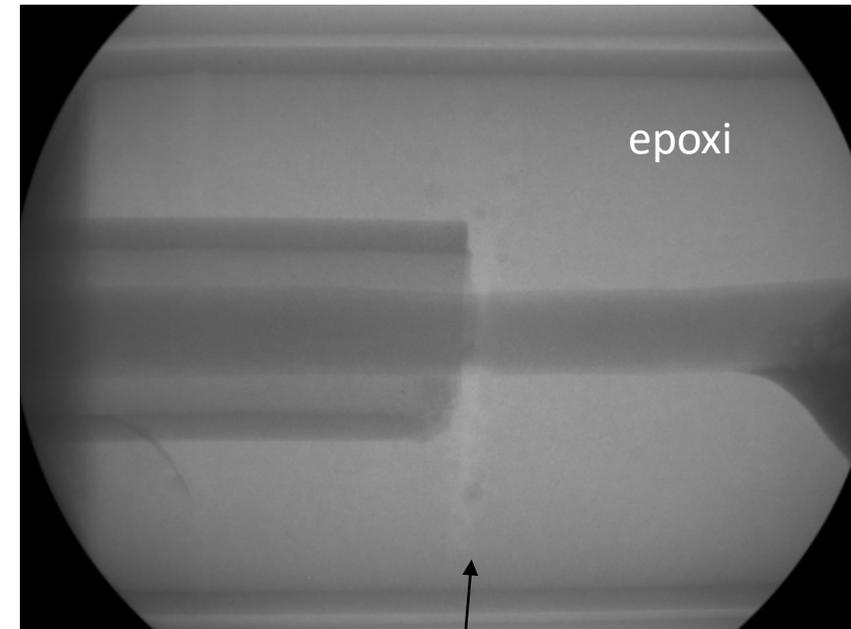
- l'analisi ai raggi-x indica problemi di conformita' geometrica e qualita' saldature nel 10% dei connettori → li cambiamo

- 13/5/07. Altro corto (meno catastrofico) su un connettore perfettamente conforme... → il problema e' un altro

**Prima**

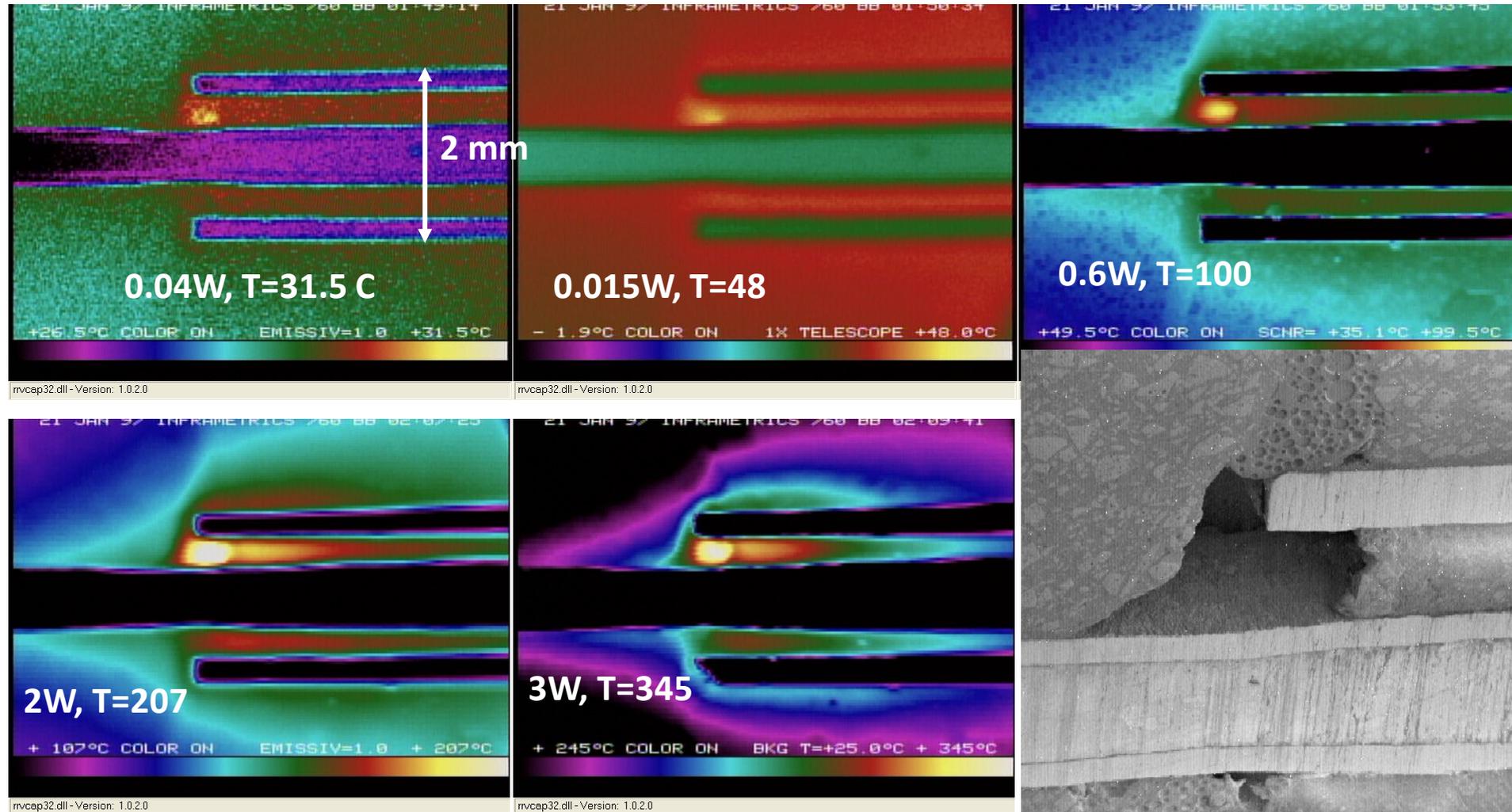


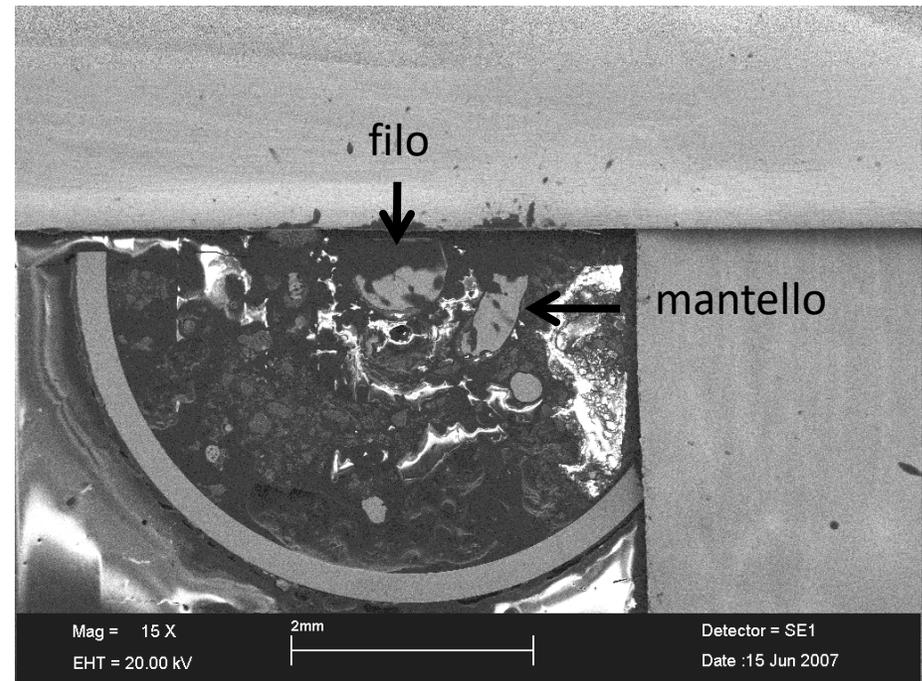
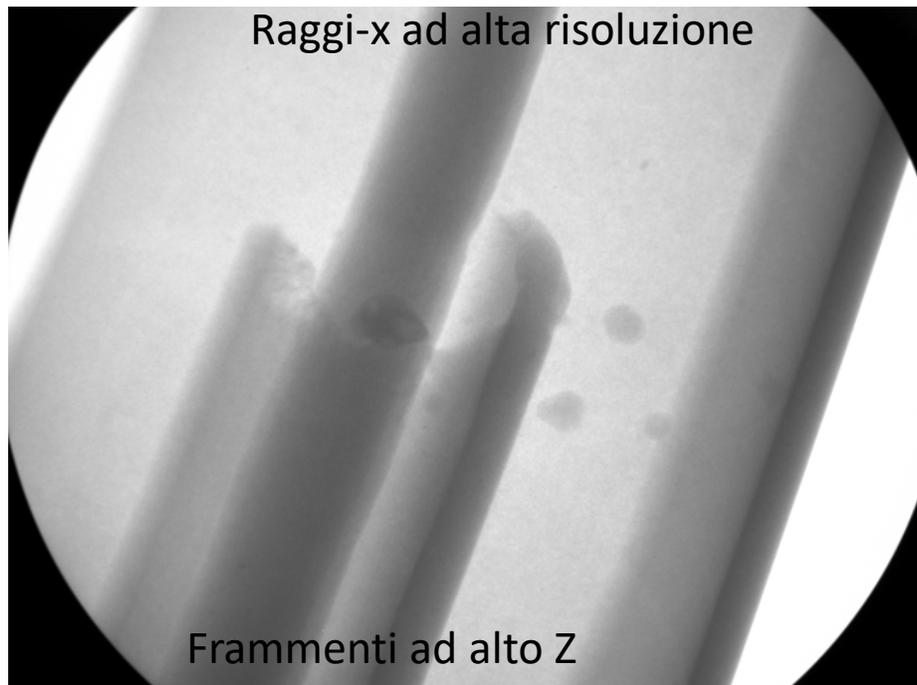
**Dopo**



- Molte analisi fatte per capire il problema e correggere
- Nel frattempo spostati gli heaters in una zona raggiungibile (senza estrarre ID)

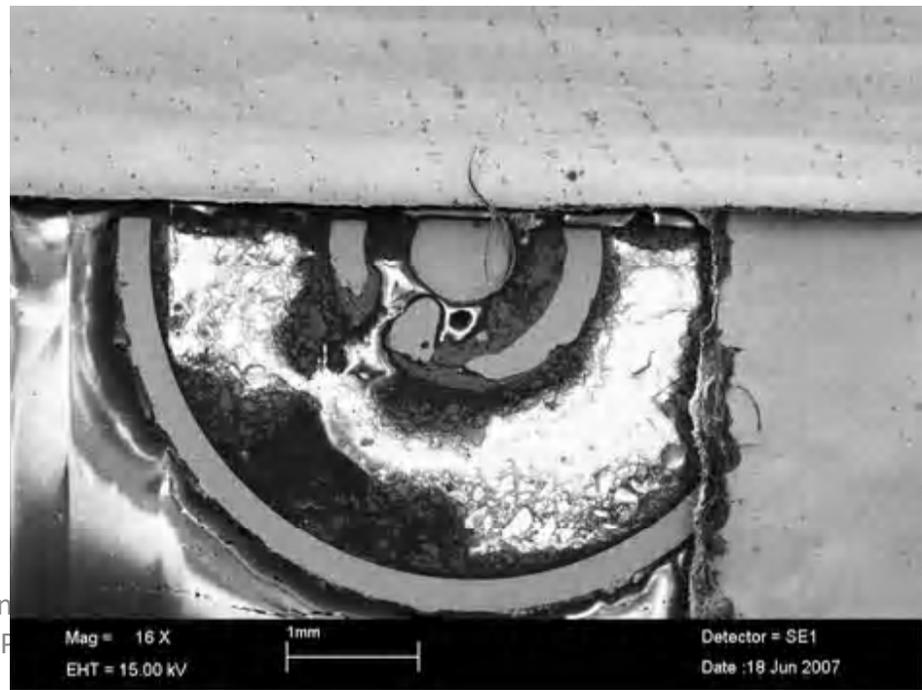
- Iniettata una corrente attraverso gli elettrodi in corto ( $38\text{ m}\Omega$ ) e misurato con termocamera di alta risoluzione.



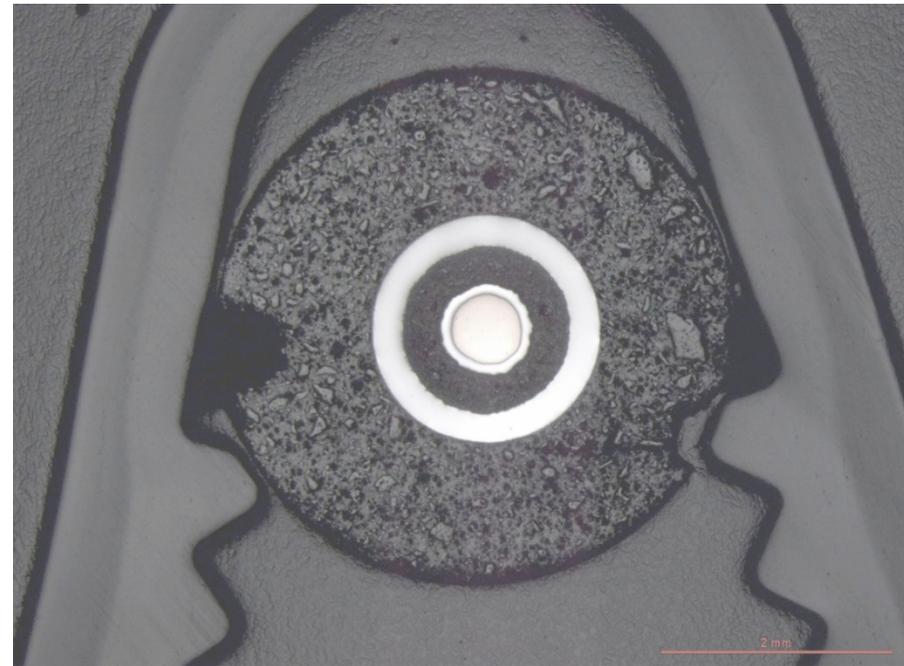


Sezione ed analisi chimica dei frammenti =  
costituiti da inox ovvero dal mantello  
intorno al filo.

Il mantello si e' fuso perche' si e' aperto un  
canale conduttivo all'estremita' del filo ed e'  
passata abbastanza corrente.



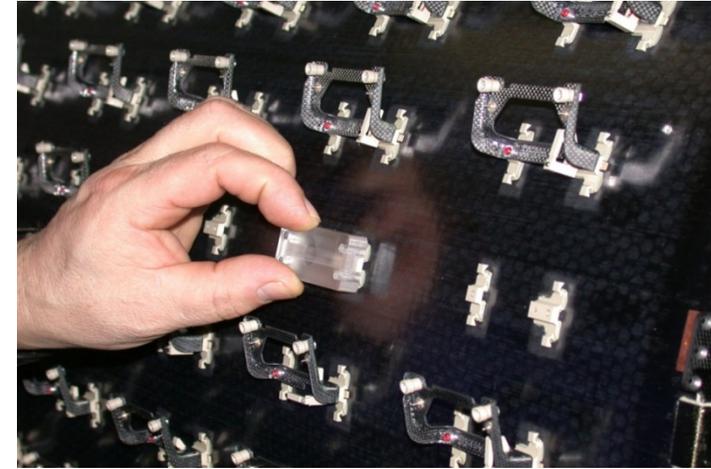
Conclusione e' che la colla contiene granuli di ceramica talvolta di dimensioni comparabili al gap di isolamento e quindi puo' aprire percorsi di corrente → carbonizzazione → migliore passaggio di corrente → fusione e corto



- Aug 08 → cambiamo tutti i connettori (isolamento in aria) e la modifica richiede fino a Dic 08.
- ~ 1 anno perso (le prove della parte Si dell'ID era in standby) tenendo anche in conto le modifiche indotte (spostati heaters fuori dal solenoide).
  - Fuorviati dalla ditta (che ha sempre detto di avere gia' usato questa tecnica e di non avere mai avuto problemi, pero' era a gap piu' grande...)
  - Il problema era comunque piuttosto sottile...

## Alcuni altri problemi durante la produzione

- 4/2004: Alcuni moduli barrel SCT si staccano → supporti da cambiare tutti [~ 2 mesi di ritardo] →



- 6/2005: SCT piste interrotte sui Low Mass Tapes EC → rifare tutte usando Cu (e non Al) [~3 mesi]

- 10/2005: TRT, barrel cooling manifold perdono → rifare tutti usando peek [~ 3 mesi] →



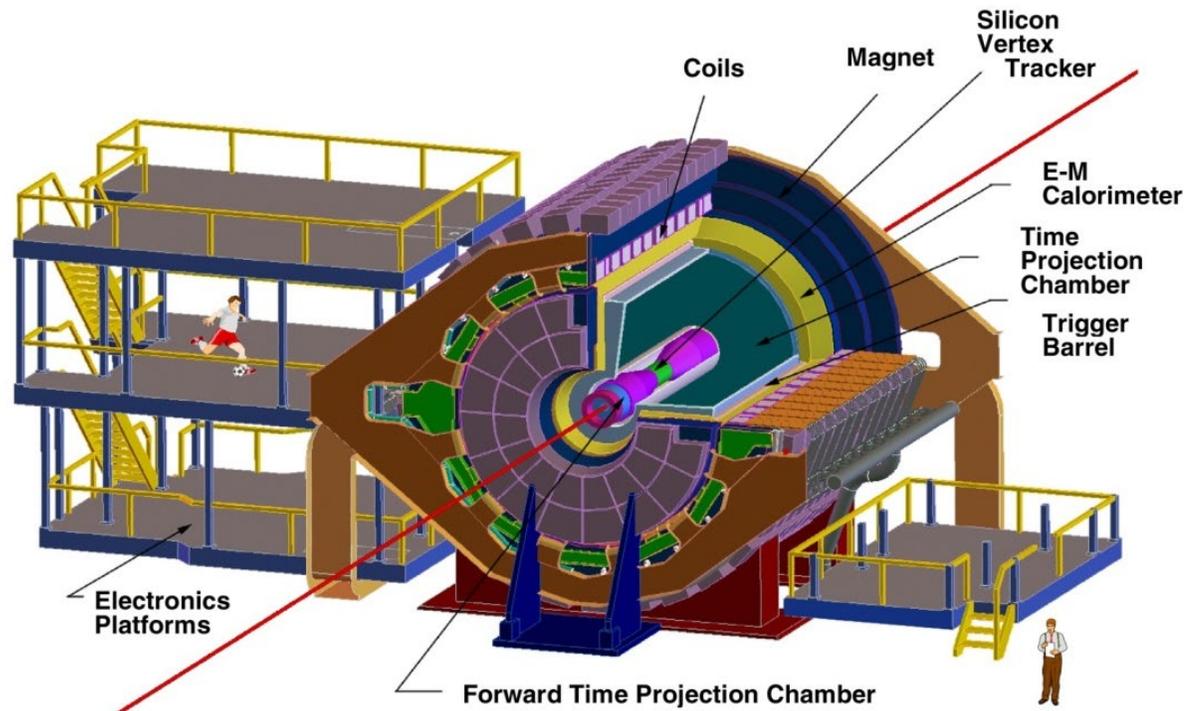
- 10/2005 : Corrosione stave pipes → ripara e/o cambia [~ 8 mesi]

- I Problemi in produzione sono inevitabili quando si costruisce un oggetto al limite delle possibilità tecnologiche
  - Si può forse migliorare il QA/QC, ma non senza rallentare il processo (o almeno l'inizio del processo).
- Tutti i rivelatori sono stati capaci di raggiungere le specifiche di disegno (rumore, efficienza, stabilità, % di canali attivi, etc.)
  - La 'core technology' del progetto funziona a dovere. E' questa che riceve l'attenzione dei migliori progettisti e sulla quale si concentrano tutte le risorse (forse troppo).
- Tutti i problemi di produzione sono concentrati nelle tecniche di servizio (connessioni idrauliche e cooling in primo luogo)
  - Ci sono state sottostime significative delle complessità di queste tecniche. Dato che i fondi erano fissati, si sono privilegiate le 'core technologies' (7/898 pagine TDR sui servizi generali...)
  - E' necessario investire in una struttura di servizio che contenga le professionalità adatte e abbia la stabilità e massa critica richiesta da un'impresa come un esperimento a LHC o SLHC (in ogni caso serve per M&O dei rivelatori attuali).
- T(TDR → rivelatore installato e funzionante) ~ 10 anni
  - assumendo di ottimizzare la fase di decisione tra le alternative e di minimizzare i problemi con un disegno conservativo e un QC migliorato
  - Meglio di così solo se si semplifica il progetto o se si cambia il modello di produzione

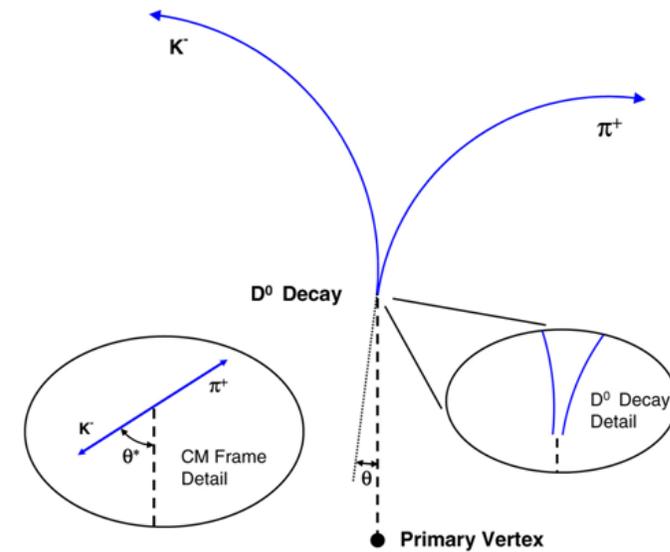
# STAR HFT Upgrade Motivation

Extend the measurement capabilities in the *heavy flavor* domain, good probe to QGP:

- Direct topological reconstruction of Charm (small  $\tau$  decays, e.g.  $D^0 \rightarrow K \pi$ )

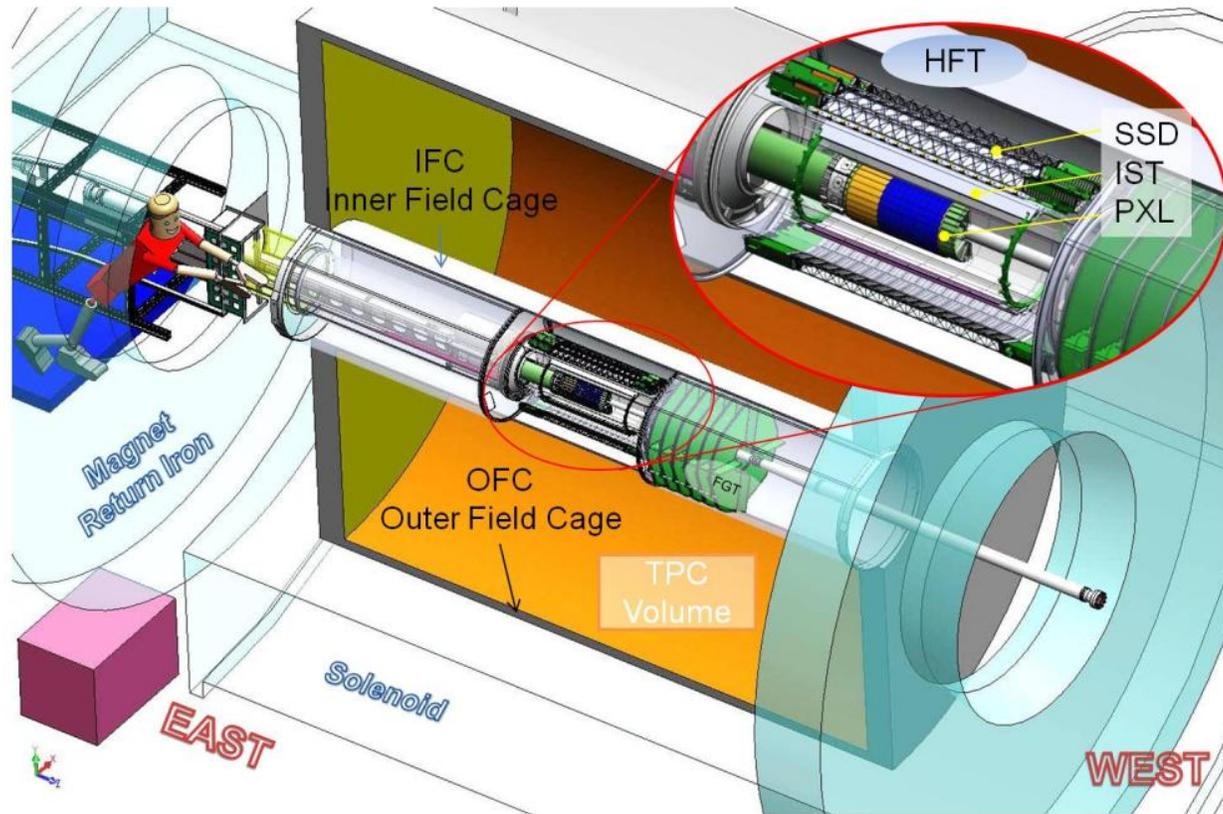


200 GeV Au-Au collisions @ RHIC



Method: Resolve displaced vertices  
( $\sim 120 \mu\text{m}$ )

# STAR Heavy Flavor Tracker (HFT) Upgrade



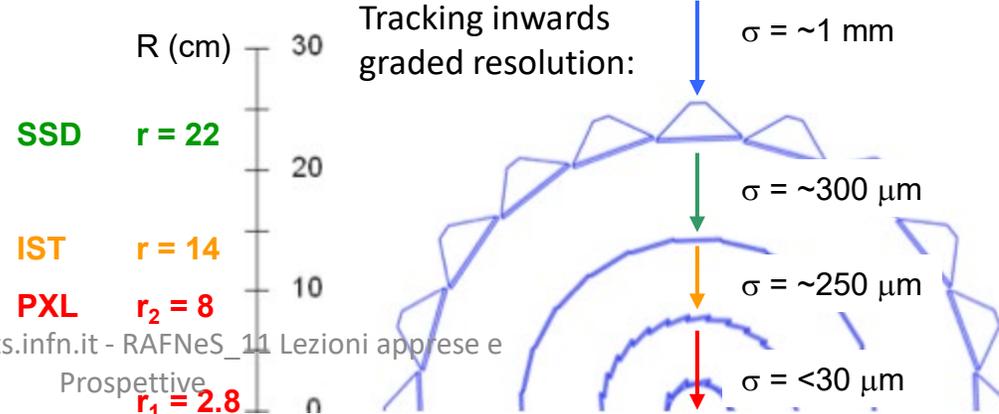
TPC – Time Projection Chamber (main tracking detector in STAR)

HFT – Heavy Flavor Tracker

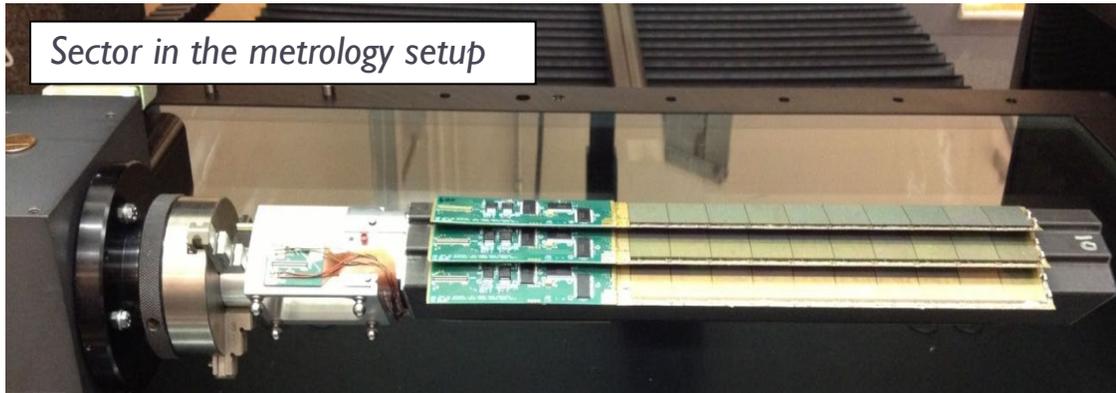
SSD – Silicon Strip Detector

IST – Intermediate Silicon Tracker

PXL – Pixel Detector



# PXL Position Control

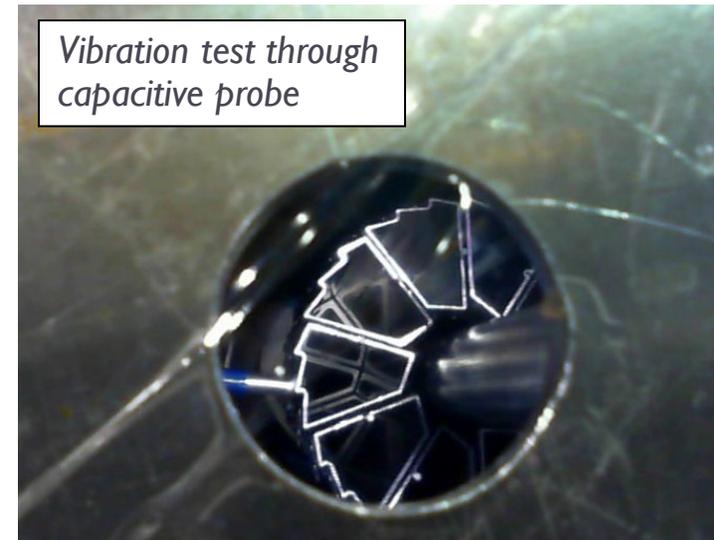


## ▶ Metrology survey

- ▶ 3D pixel positions on sector are measured with touch probe and related to tooling balls
  - ▶ Sector tooling ball positions related to kinematic mounts
- Detector-half is fully mapped

## ▶ Position stability

- ▶ Vibration at air cooling full flow:  $\sim 5 \mu\text{m}$  RMS
  - ▶ Stable displacement at full air flow:  $\sim 30 \mu\text{m}$
  - ▶ Stable displacement at power on:  $\sim 5 \mu\text{m}$
- Global hit position resolution:  $\sim 6.2 \mu\text{m}$

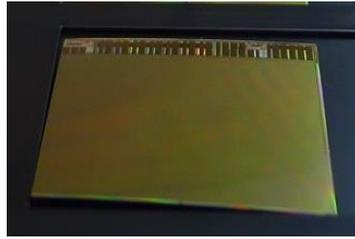


HFT DCA pointing resolution:  $(10 \oplus 24/p) \mu\text{m}$

# PXL Material Budget

- ▶ Thinned Sensor

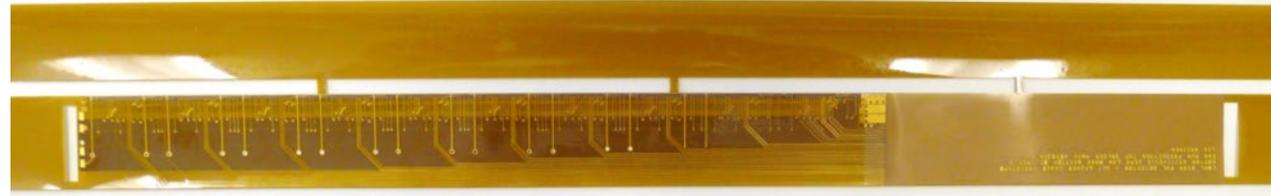
- ▶ 50  $\mu\text{m}$
- ▶ 0.068%  $X_0$



- ▶ Curved sensor
- ▶ 40-60% yield after thinning, dicing and probe testing
- ▶ Fully characterized before installation

- ▶ Flex Cable

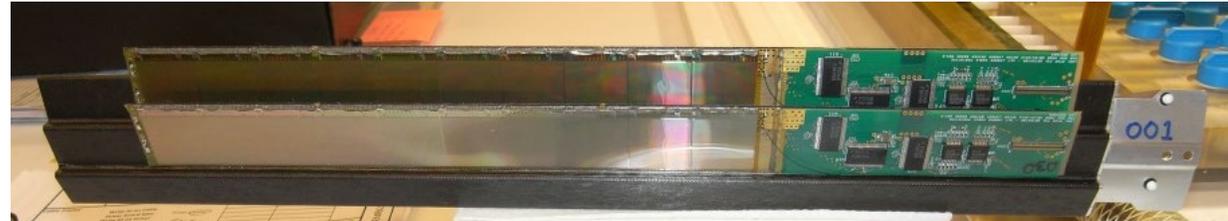
- ▶ Aluminum-Kapton
- ▶ two 32  $\mu\text{m}$ -thick Al layers
- ▶ 0.128%  $X_0$ 
  - ▶ Copper version  $\rightarrow$  0.232%  $X_0$



- ▶ Power and signal lines
- ▶ Wire bond encapsulant largest contribution
- ▶ Acrylic adhesive to deal with different CTE

- ▶ Carbon fiber supports

- ▶ 125  $\mu\text{m}$  stiffener
- ▶ 250  $\mu\text{m}$  sector tube
- ▶ 0.193%  $X_0$



- ▶ Cooling

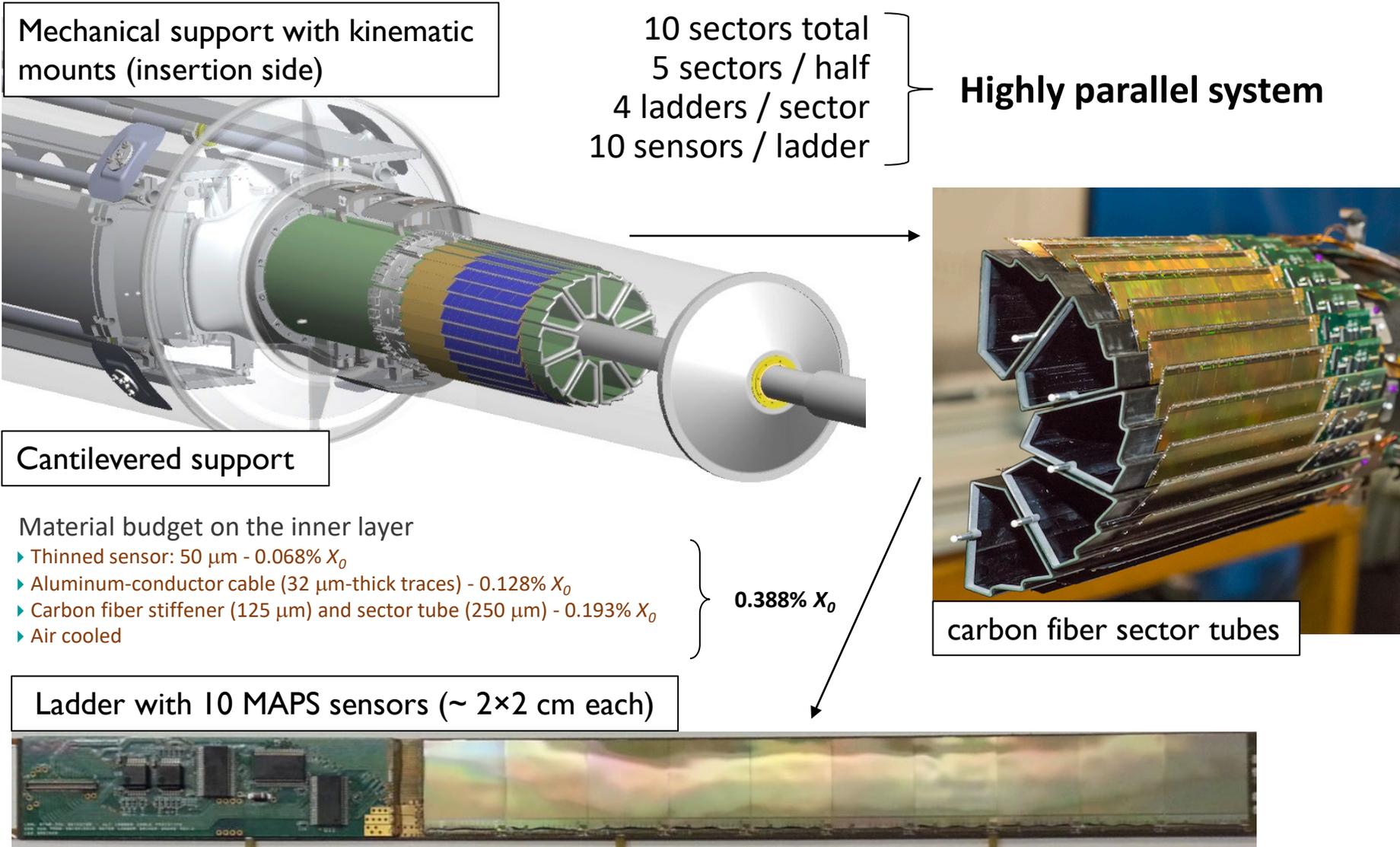
- ▶ Air cooling: negligible contribution

▶ **Total material budget on inner layer: 0.388%  $X_0$**

(0.492%  $X_0$  for the Cu conductor version)

HFT DCA pointing resolution:  
(10  $\oplus$  24/p)  $\mu\text{m}$

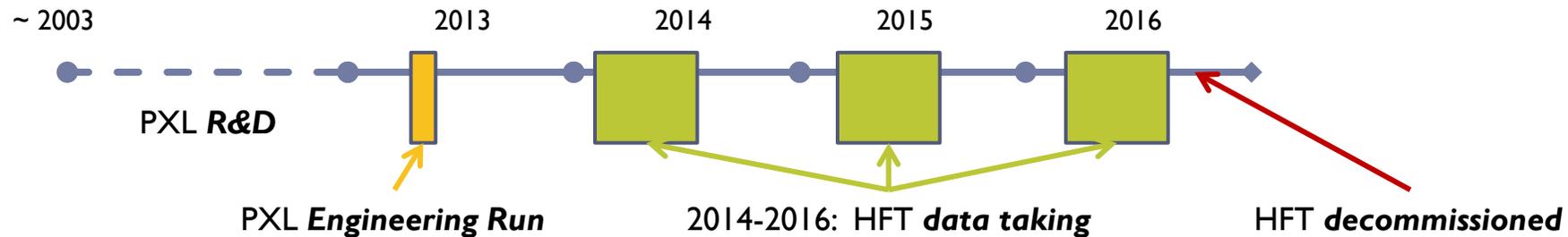
# PXL System Overview



The PiXeL detector (PXL)  
 First vertex detector at a collider experiment based on  
***Monolithic Active Pixel Sensor*** technology



# PXL timeline and operations



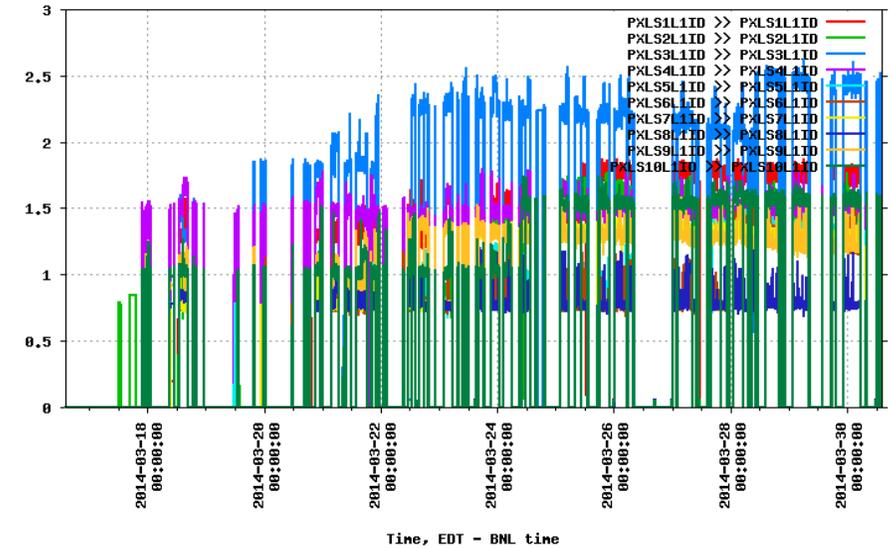
- ▶ **2013 Engineering Run** (3 prototype sectors) allowed discovering and fixing:
    - ▶ Shorts between power and GND, or LVDS outputs
    - ▶ Mechanical interference in the driver boards on the existing design
    - ▶ Missing power control, monitoring and overcurrent thresholds functionalities
  - ▶ **2014-2016 Physics Runs: PXL Operations**
    - ▶ Hit multiplicity: up to 1000/inner-sensor
    - ▶ Typical trigger rate: 0.8-1 kHz
    - ▶ 2014 Run: ~ 1.2 Billion Au+Au
    - ▶ 2015 Run: ~ 1 Billion p+p , ~ 0.6 Billion p+Au
    - ▶ 2016 Run: ~ 2 Billion Au+Au , 0.3 Billion d+Au
    - ▶ Dead time up to ~6%
    - ▶ Latch-up reset events: 2 latch-up/min
- Minimum bias events in PXL acceptance @  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV

# Radiation damage

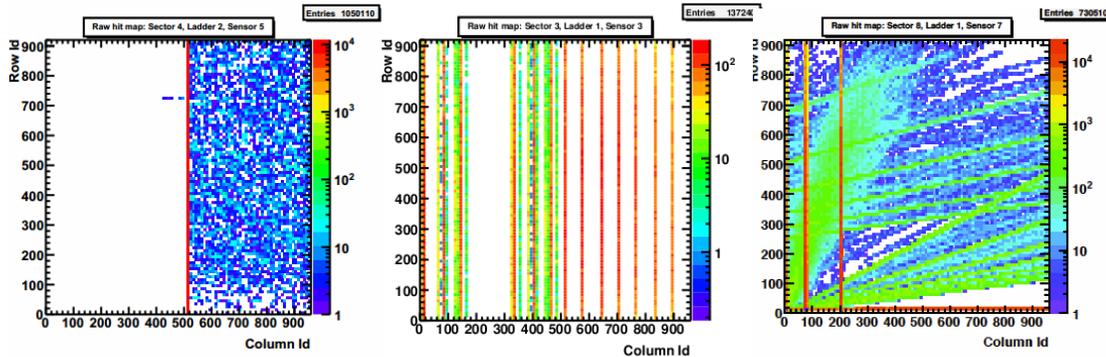
- ▶ First damages observed at the end of 15 GeV run:
  - ▶ Observed after several beam loss events (seen by STAR as TPC Cathode trips): efficiency loss and increase of current consumption in 2 ladders
- ▶ Damage continued into 200 GeV Run
  - ▶ Most PXL sensor damage appears to be radiation related damage possibly due to latch-up events in thinned sensors and takes on many forms: increased digital current, loss of or damaged columns, damaged JTAG registers, loss of full or partial sub-arrays, etc.

Amps

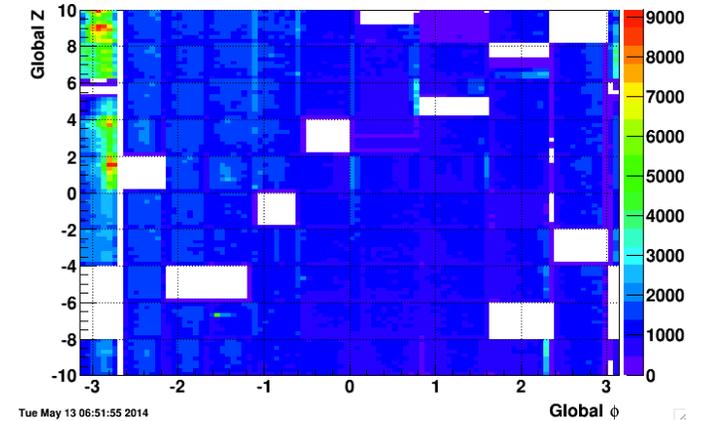
Digital current on the inner ladders during initial period of 200 GeV/c Au+Au Run



Sensor damage examples

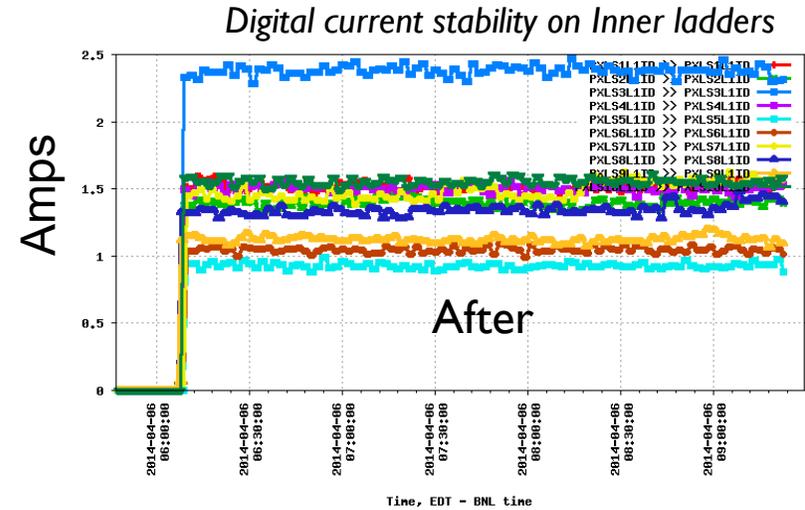
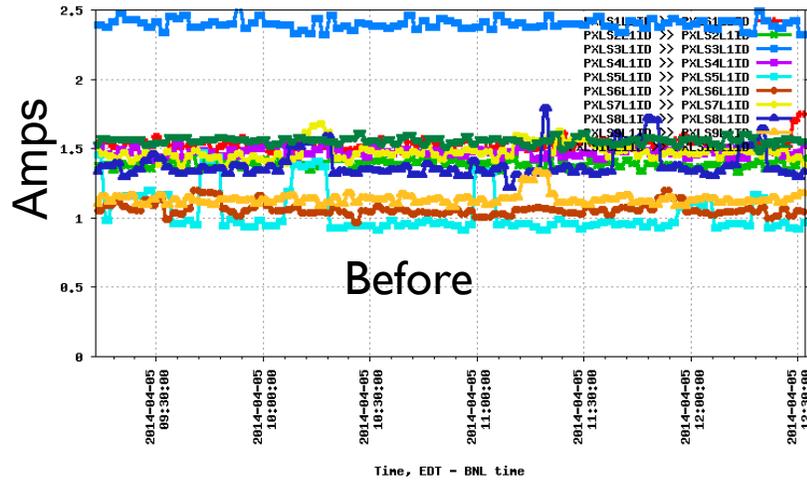


Global  $\phi$  vs. global Z, inner



Inner Layer: 14% damage  
(Outer layer: 1% damage)

# Remediation



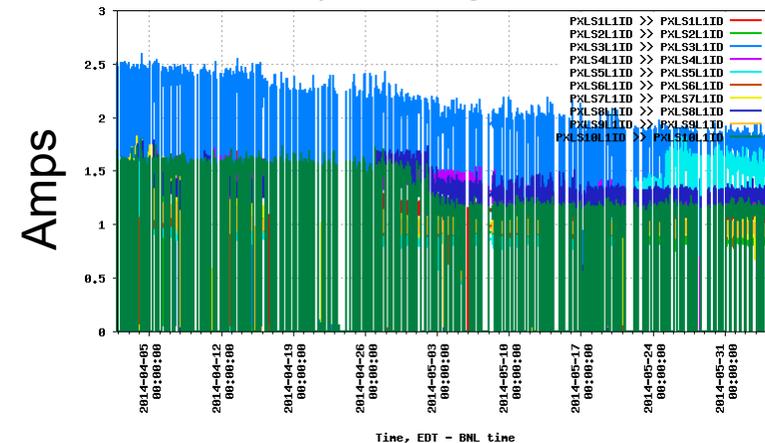
## Remediation in place:

- ▶ PXL and IST are only turned on when collision rate < 55 kHz
- ▶ Cycle digital power and reload configuration automatically every 15 minutes
- ▶ Latch-up thresholds now 120 mA above measured operational current for each ladder

## Next actions:

- ▶ The failure mechanism extensively investigated by exposing existing PXL ladders and thinned sensors on testing cards to heavy ion beams at the 88" Cyclotron BASE facility at LBNL
- ▶ In Run 15, LU current thresholds set very close to the ladder running current in order to limit the energy available to a latch-up event

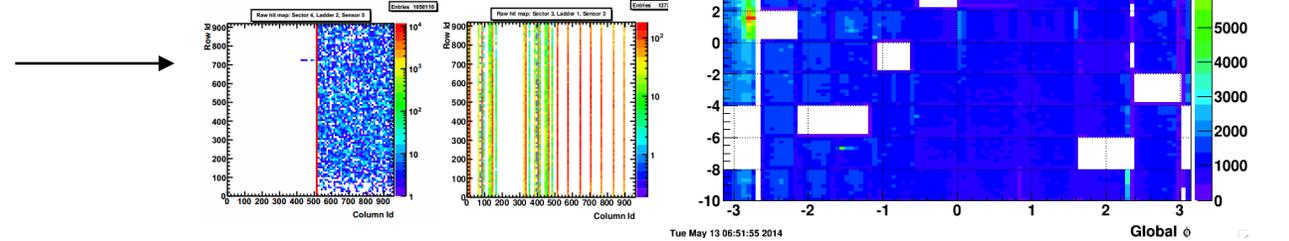
## Digital current on the inner ladders after implementing remediation



# Operational issues: Latch-up damage

- Unexpected damage seen on 15 ladders in the STAR radiation environment in 2014 Run first 2 weeks

- Digital power current increase
- Sensor data corruption
- Hotspots in sensor digital section
- Correlated with *latch-up* events
- Limited with operational methods



- Latch-up tests at *BASE facility* (LBL) to measure latch-up cross-section and reproduce damage

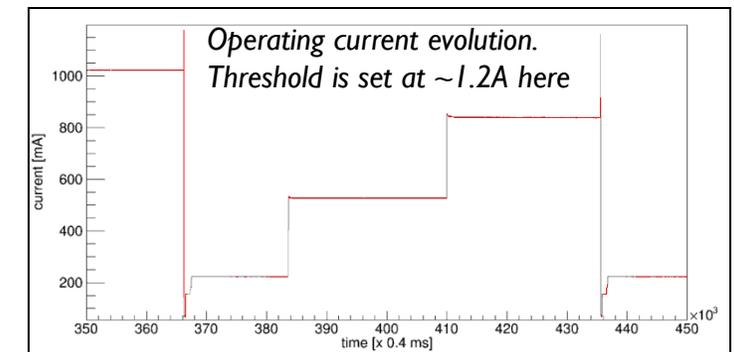
- 50  $\mu\text{m}$  & 700  $\mu\text{m}$  thick, low and high resistivity sensors; PXL ladders
- Irradiation with heavy-ions and protons

## Latch-up phenomenon:

- Self feeding short circuit caused by single event upset
- Can only be stopped by removing the power

- Results and observations

- Current limited latch-up states observed (typically  $\sim 300$  mA)
- Damage reproduced only with HI on PXL 50  $\mu\text{m}$  thinned sensors
- Latch-up protection at 80 mA above operating current
- Periodic detector reset to clear SEU



# Latch-up test damage analysis

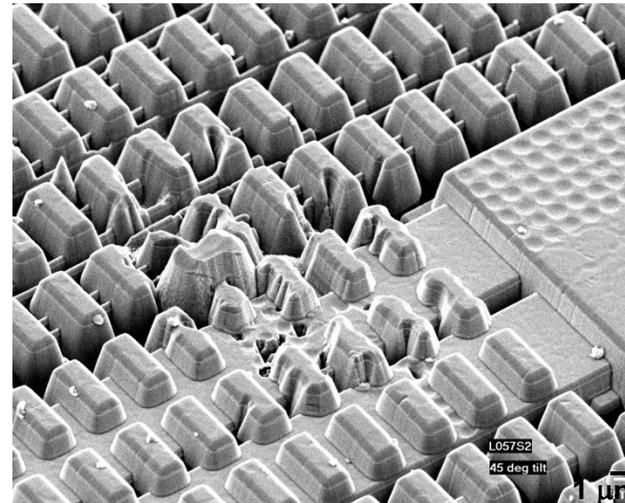
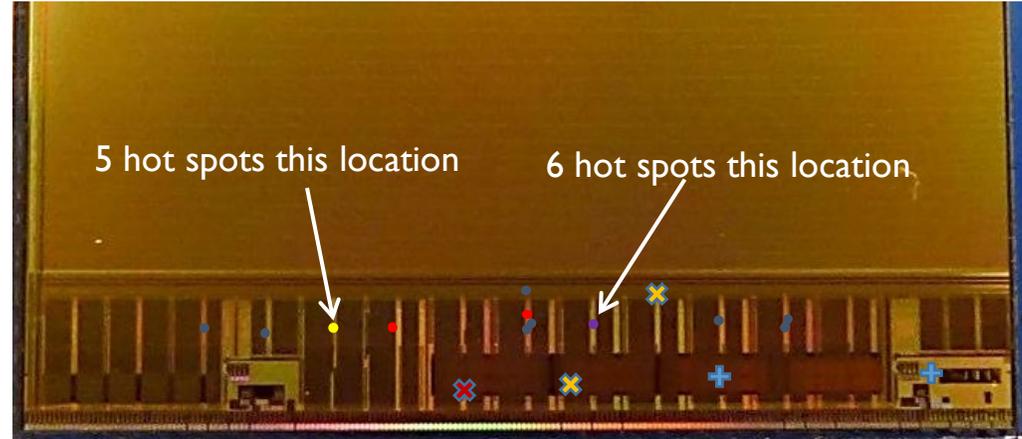
Hot spot showing damage to sensor #2 on run 14 ladder



50 um thinned silicon  
Temperatures from 55-100 C

- **Full thickness sensors were tested** for LU during development: measured cross section consistent with LU events recorded on the detector
- **Damage cross section is too low** to easily measure with individual sensors based testing

Hotspots tend to favor particular structures (isolated buffers with specific structure pitch)



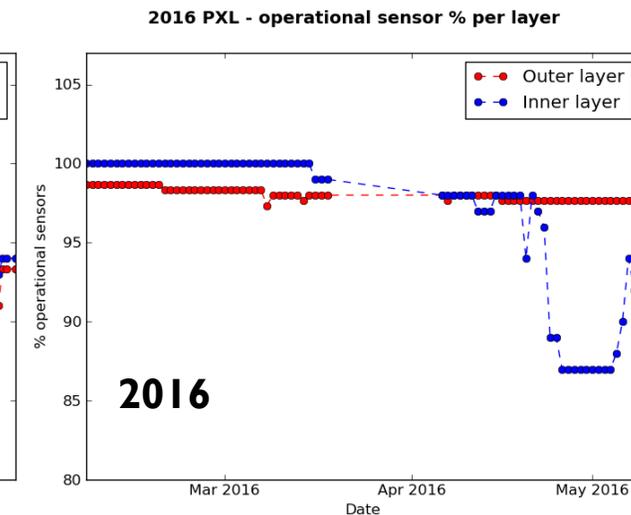
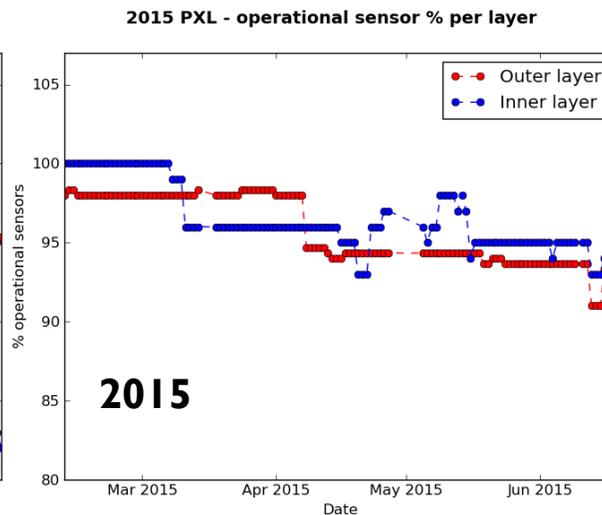
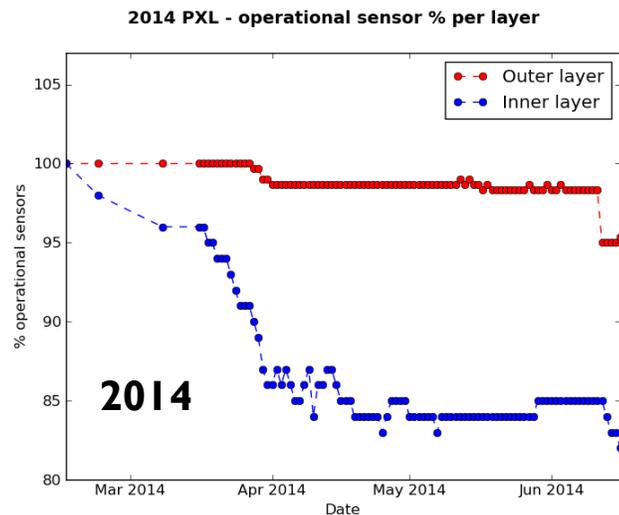
PXL sensor layers deconstructed (plasma etching technique) and viewed with SEM (@BNL Instrumentation Division)

The layers appear to be melted

# Latch-Up Damage evolution

Run	Good sensors on Inner Layer		Good sensors on Outer Layer		Comment
	installation	end of run	installation	end of run	
2014	100%	82%	100%	95%	LU damage, most of it in the first 15 days of operations
2015	99%	94%	98%	96% (93%)*	* = Lost control of an outer ladder (10 good sensors off)
2016	100%	95% (87%)+	99%	98%	+ = Current instability on inner ladder (8 good sensors off)

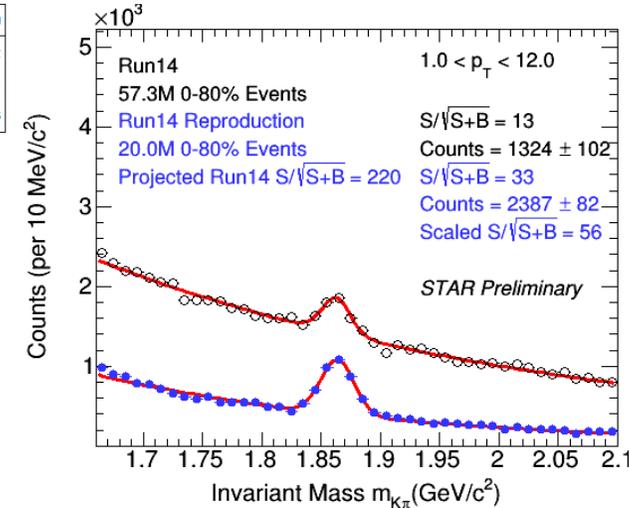
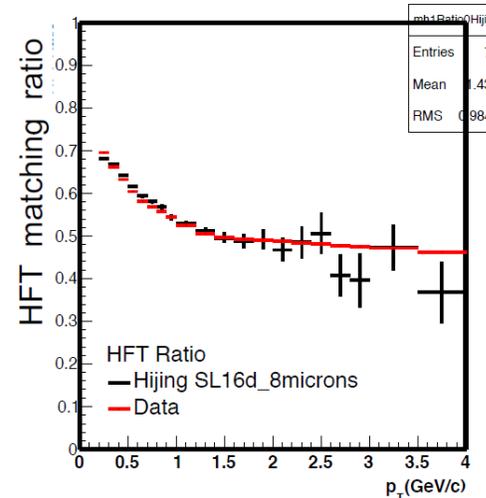
Good sensor = sensor with >95% active channels and uniform efficiency



# Software/Firmware issues

- ▶ Reconstruction software issue - 2014 data production
  - ▶ A bug in the **reconstruction** software led to an **efficiency loss** in the reconstructed 2014 Run data, affecting the preliminary STAR results

- ▶ After fixing the bug, the new data reconstruction and analysis showed a significant improvement in the tracking performance which now matches the simulation → *~4x Significance*



- ▶ Readout firmware issue - 2015 data, matching inefficiency
  - ▶ A subtle bug introduced by a change in the **PXL RDO firmware** led to an efficiency loss in the 2015 Run p+p data
  - ▶ **Feedback and data QA tools:**
    - ▶ The extensive tests with pattern data and the calibration were inadequate
    - ▶ A fast-offline tracking QA was put in place only after the 2015 Run
  - ▶ **Fix:** A post-run investigation based on external **sensor illumination with LED** allowed for firmware debugging and fixing

# STAR PXL Project: Strengths and Weaknesses

---

## Strengths

- ▶ MAPS technology features
- ▶ Sensor and Readout System developments strictly coupled
- ▶ Engineering run, crucial for the program
- ▶ ~Full control on the production

**Success!**



Performance exceeded expectations  
Access the charm domain

## Weaknesses

- ▶ The technology was new for a collider environment
- ▶ Short (3-years) physics program
- ▶ Sensor integration time too long to access the bottom domain

**Future:**



ALICE ITS Upgrade, sPHENIX MVTX



# Prospettive di ricerca nel campo della fisica dei rivelatori:

**MOLTO VARIE!**

# Commissioning Team

- Coordination: Felix Reidt
- Deputies: Domenico Colella, Sergey Senyukov
- Coordinators and on-call / on-site experts (to be extended):

Subsystem	Coordinator	On-call / on-site experts
Inner Barrel	Magnus Mager	Miljenko Suljic
Outer Barrel	Jochen Klein	
Electronics	Jo Schambach / Piero Giubilato	Arild Velure, Matteo Lupi
DCS / DSS	Paolo Martinengo / Sergey Senyukov	Ivan Cali, Michael Peters
Power System	Hartmut Hillemans	Alberto Collu
Cooling System	Sergey Senyukov	Philippe Bouvier
Calibration / DQM	Markus Keil	Mario Sitta, Zhaozhong Shi
Services	Antoine Junique	Bilal Shahid
Assembly	Corrado Gargiulo	Andres Galdames Perez

# Prospettive di ricerca nella fisica dei rivelatori

- Hardware

- Progettazione del sensore (logica digitale, elementi sensibili)
- Progettazione e realizzazione sistema di readout
- Progettazione e realizzazione sistema di alimentazione (SPICE, CAD)
- Progettazione e realizzazione interconnessioni (flex, wire-bump-tab bonding)
- Progettazione sistema di raffreddamento (fluidodinamica, idraulica)
- Progettazione e realizzazione del sistema di test (elettronica, automazione)
- Test e caratterizzazione dei prototipi con cosmici, sorgente, laser, sotto fascio, in esperimento
- Costruzione e assemblaggio del rivelatore
- Caratterizzazione e test del rivelatore
- Progettazione e costruzione dei sistemi di controllo e di protezione del rivelatore
- Messa a punto del rivelatore (commissioning)
- Installazione. operazioni e mantenimento del rivelatore nell'esperimento
- Progettazione e sviluppo meccaniche

# Prospettive di ricerca nella fisica dei rivelatori

## • Software

- Simulazione risposta sensore (C++, ROOT)
- Simulazione prestazioni dell'apparato (C++, ROOT)
- Scrittura codice per configurazione e operazioni del rivelatore
- Scrittura firmware di readout (VHDL, Verilog, ...)
- Codifica della geometria del rivelatore (C++, ...)
- Analisi dati di test (C++, ROOT, Python, ...)
- Sviluppo infrastrutture e interfaccia di controllo (WinCC, PVSS, EPICS, ...)
- Sviluppo infrastrutture di immagazzinamento e gestione grande mole di dati
- Analisi dei dati di calibrazione
- Gestione database per calibrazione e dati dei test
- Ottimizzazione dati in base alle prestazioni del detector
- Programmazione e gestione del progetto (calendario, costi, risorse umane, rischi)

# Prospettive di ricerca nella fisica dei rivelatori

- Fisica!
- Ovvero: Applicazione delle conoscenze acquisite in campo hardware e software per estrarre misure di fisica dai dati raccolti

# Scuole di Rivelatori

- **EDIT– Excellence in Detector and Instrumentation Technologies**
  - EDIT is a school devoted to young researchers, in their graduate studies or in their first year as post docs, seeking to acquire a deeper knowledge on the major aspects of detectors and instrumentation technologies for particle physics. The school comprises lectures and four courses with hands-on experiments, including beam tests, on silicon sensors, silicon systems, calorimetry and gas detectors.
- **The HighRR Research Training Group – Heidelberg, DE**
  - Hands-on courses, phd programs on the instrumentation of novel experiments in nuclear, particle and high energy physics and gives doctoral researchers the opportunity to participate in the development of next-generation particle detectors using most advanced technologies
  - <https://www.physik.uni-heidelberg.de/highrr/>
- **Giornate di Studio Sui Rivelatori – INFN – Aosta, IT**
  - One-week school on particle detectors and related topics. It is mainly targeted at Ph.D. students and young post-docs.
  - <https://agenda.infn.it/event/17213/>
- **International Course "Detectors and Electronics for High Energy Physics, Astrophysics, Space Applications and Medical Physics" – Legnaro, IT**
  - It is of interest for PhD students and postgraduates, on:
    - semiconductor detectors, electronic devices and systems and their applications
    - radiation effects in semiconductor detectors, optical and electronic devices and systems;
    - Italian and European irradiation facilities for interdisciplinary applications.

# Scuole di Rivelatori

- **EDIT– Excellence in Detector and Instrumentation Technologies**
  - EDIT is a school devoted to young researchers, in their graduate studies or in their first year as post docs, seeking to acquire a deeper knowledge on the major aspects of detectors and instrumentation technologies for particle physics. The school comprises lectures and four courses with hands-on experiments, including beam tests, on silicon sensors, silicon systems, calorimetry and gas detectors.
- **The HighRR Research Training Group – Heidelberg, DE**
  - Hands-on courses, phd programs on the instrumentation of novel experiments in nuclear, particle and high energy physics and gives doctoral researchers the opportunity to participate in the development of next-generation particle detectors using most advanced technologies
  - <https://www.physik.uni-heidelberg.de/highrr/>
- **Giornate di Studio Sui Rivelatori – INFN – Aosta, IT**
  - One-week school on particle detectors and related topics. It is mainly targeted at Ph.D. students and young post-docs.
  - <https://agenda.infn.it/event/17213/>
- **International Course "Detectors and Electronics for High Energy Physics, Astrophysics, Space Applications and Medical Physics" – Legnaro, IT**
  - It is of interest for PhD students and postgraduates, on:
    - semiconductor detectors, electronic devices and systems and their applications
    - radiation effects in semiconductor detectors, optical and electronic devices and systems;
    - Italian and European irradiation facilities for interdisciplinary applications.

# Conferenze sui rivelatori al silicio

- 12/12/22 PIXEL2022 The Tenth International Workshop on Semiconductor Pixel Detectors for Particles and Imaging
- 21/2/22 VCI 2022 16th Vienna Conference on Instrumentation, 21 to 25 February 2022, Vienna, Austria
- 17/11/21 RD50 Workshop 39th RD50 Workshop, Valencia, Spain, 17-19 November 2021
- 27/9/21 VERTEX 2021 The 30th International Workshop on Vertex Detectors, Oxford, 27-30 September 2021
- 20/9/21 TWEPP2021 Topical Workshop on Electronics for Particle Physics, 20-24 September, online
- 13/9/21 RADECS 2021 Radiation and its Effects on Components and Systems, 13-17 September 2021, Hotel Savoyen, Vienna, Austria
- 12/9/21 PSD12 2020 The 12th International Conference on Position Sensitive Detectors, 12-17. September 2021, University of Birmingham
- 9/9/21 PicoSecond 2021 Workshop on Pico-Second Timing Detectors for Physics, 9-11 September 2021, Zuerich, Switzerland
- 19/7/21 NSREC 2021 Ottawa, Canada 19-23 July
- 27/6/21 iworid2020 International Workshop on Radiation Imaging Detectors [moved from 7.6.2020]
- 21/6/21 RD50 Workshop (38) 38th RD50 Workshop, CERN (online)
- 6/4/21 Terascale 2021 13th Terascale Detector Workshop, 6-8 April 2021 (Virtual),
- 16/2/21 Trento 2021 16th (Virtual) "Trento" Workshop on Advanced Silicon Radiation Detectors