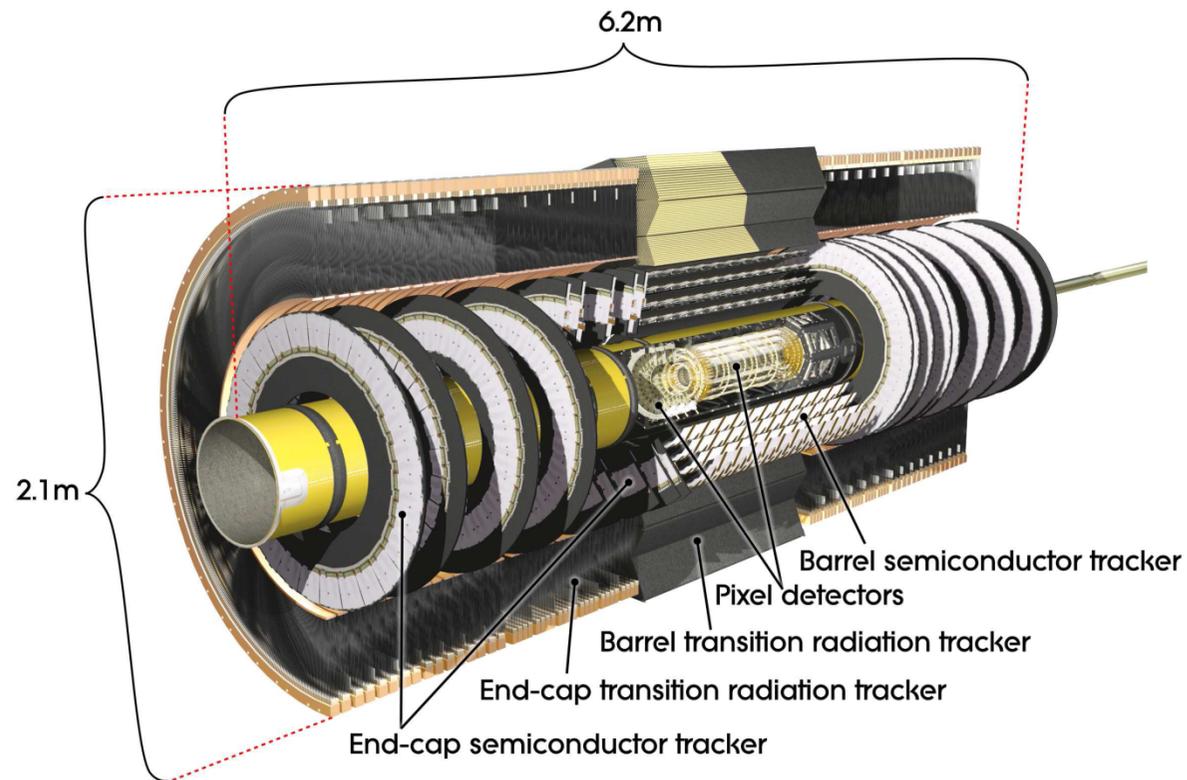


# Costruzione del tracciatore di ATLAS

cosa abbiamo imparato e come  
usare quello che abbiamo  
imparato

# Cosa abbiamo costruito

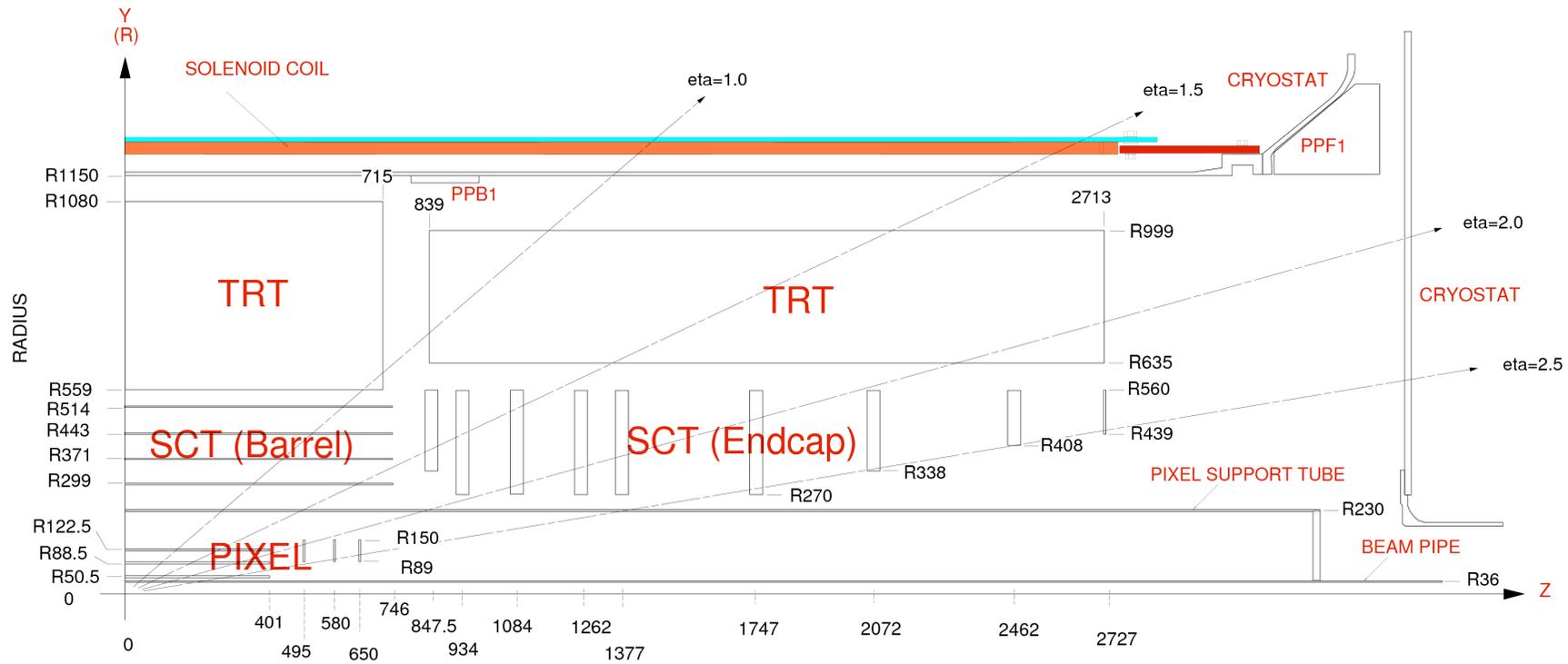


**Pixels: 1.8 m<sup>2</sup>, ~80M canali**

**SCT: 61 m<sup>2</sup>, ~6.3M canali**

**TRT straws: ~400k canali**

**78 MCHF "CORE"**



**PIXEL ( $50 \mu\text{m} \times 400 \mu\text{m}$ ): 3 barrels,  $2 \times 3$  disks**

$5\text{cm} < r < 15\text{cm}$

- Pattern recognition in high occupancy region
- Impact parameter resolution (in 3d)

Radiation hard technology:  $n^+$ -in- $n$  Silicon technology, operated at  $-6^\circ\text{C}$

**Strips ( $80 \mu\text{m} \times 12 \text{cm}$ ) (small stereo angle): “SCT” 4 barrels,  $2 \times 9$  disks**

$30\text{cm} < r < 51\text{cm}$

- pattern recognition
- momentum resolution

p-strips in n-type silicon, operated at  $-7^\circ\text{C}$

**TRT 4mm diameter straw drift tubes: barrel + wheels**

$55\text{cm} < r < 105\text{cm}$

- Additional pattern recognition by having many hits ( $\sim 36$ )
- Standalone electron id. from transition radiation

- La storia del tracciatore di ATLAS:
  - Scala dei tempi:
    - i processi di decisione tra soluzioni alternative
    - Gli incidenti di percorso e gli errori fatti
- Cosa abbiamo imparato:
  - che i processi decisionali sono una parte delicata del progetto
  - che abbiamo messo piu' tempo del previsto a completare il progetto
  - che non abbiamo sbagliato sulle tecnologie difficili , ma su quelle facili
- Un'occhiata al futuro:
  - non sara' piu' facile...

# 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!**

**Previsione al TDR: 7 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%)

1+2+3				4+5					6+7				
1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9	9	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	9	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8

# 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 architetturelle 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

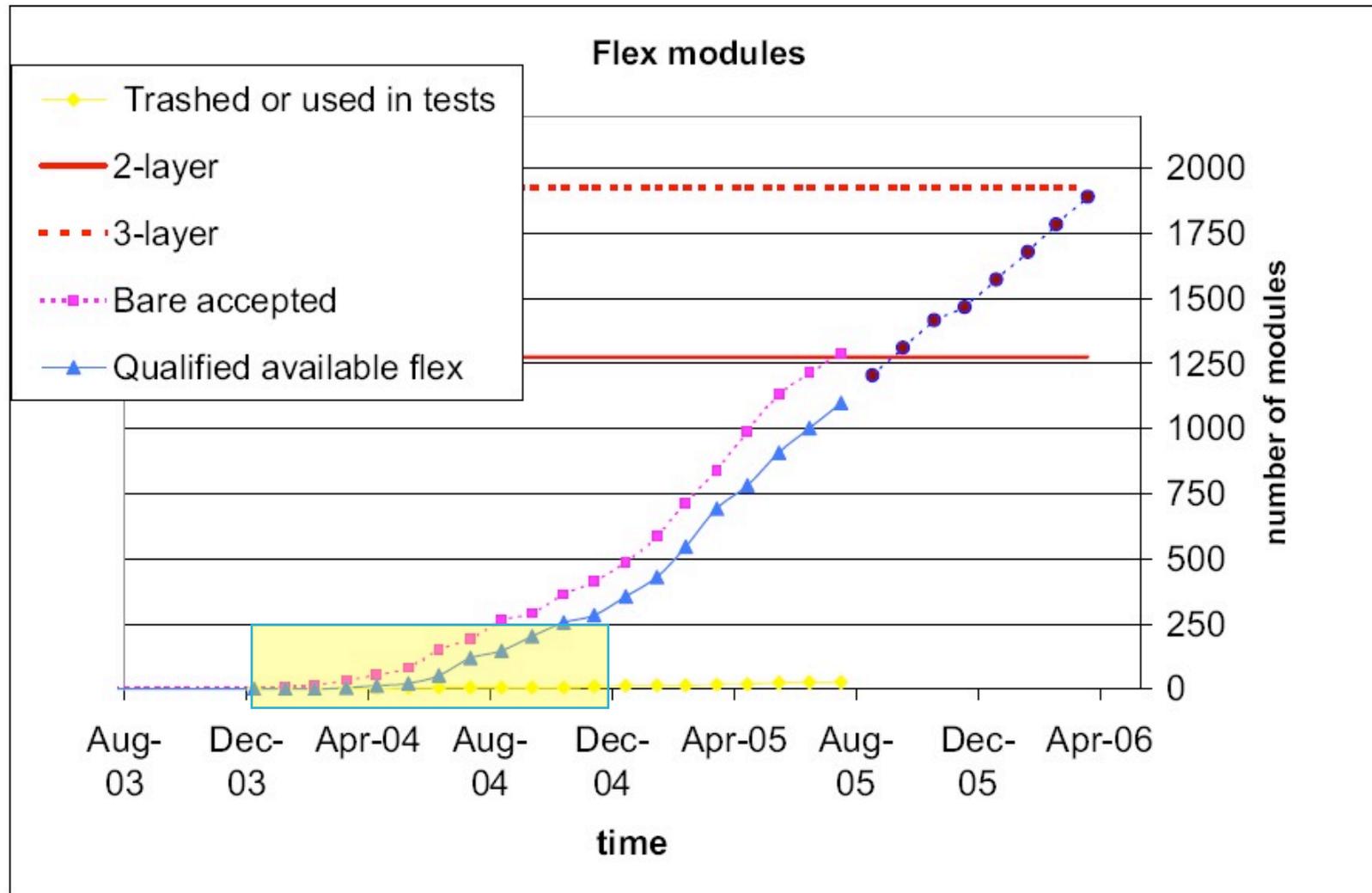
# Esempio di alternativa imposta da un problema

- 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 (insertable 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 perche' non avevano ancora un disegno di un amplificatore CMOS a bassa potenza.
- Credo che SCT rimpianga la scelta fatta (costo maggiore, tecnologia obsoleta, minori funzionalita' possibili nel FE chip) specie con l'attuale scheda di LHC...

# Dalle decisioni alla produzione

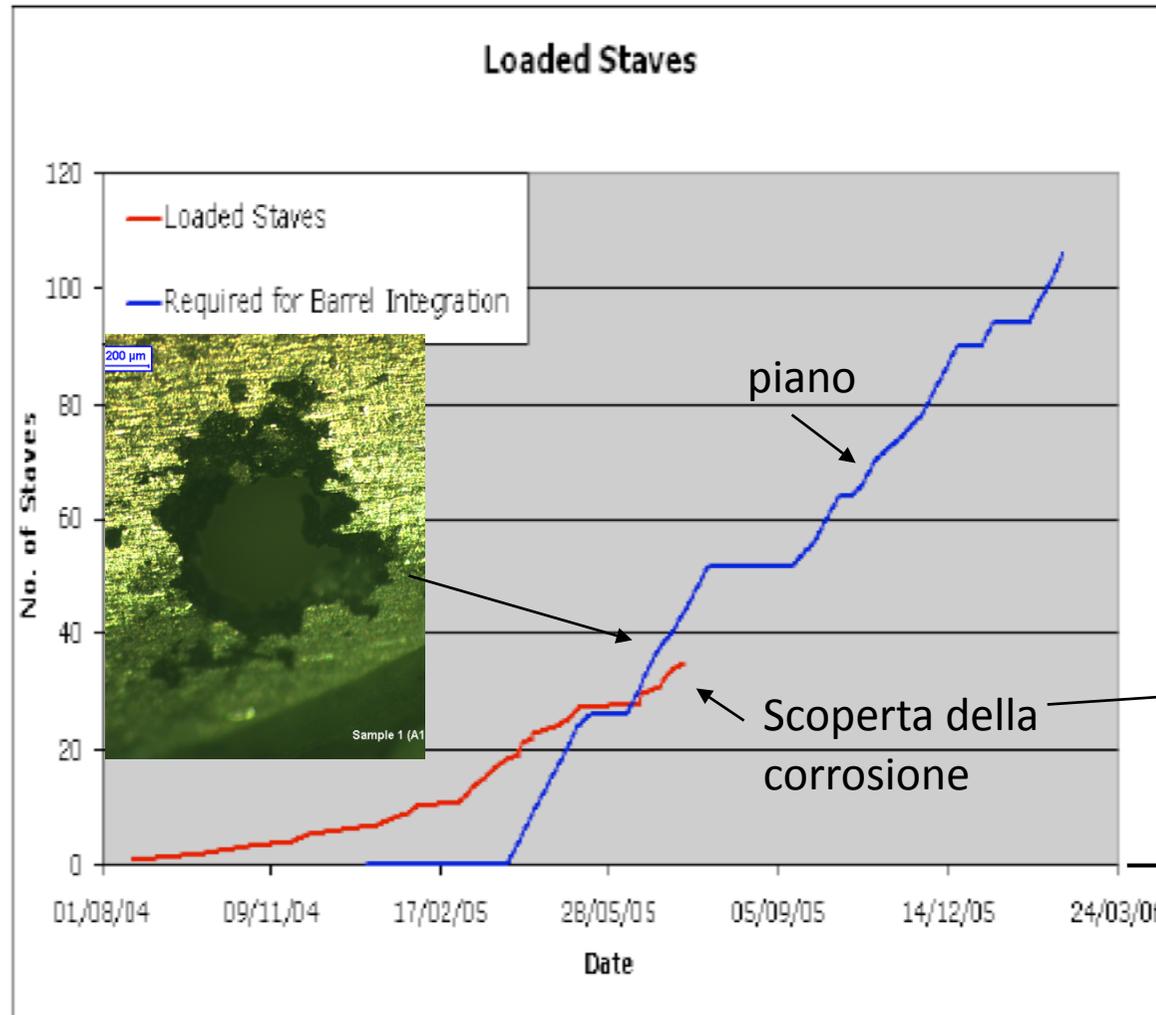
- Una volta scelta una soluzione (per prudenza chiamata baseline) inizia un processo di verifica delle specifiche che culmina con un FDR e poi PRR.
- Qualche esempio (sempre per il progetto Pixel)
  - Sensori (1<sup>mo</sup> prototipo finale 12/99 ; 1<sup>mo</sup> wafer di produzione 3/02)
  - Elettronica 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)

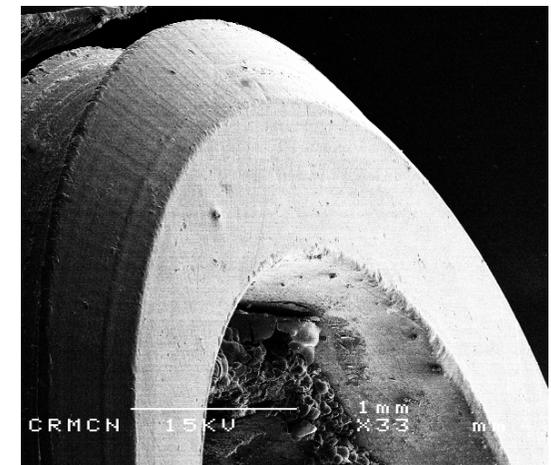


Per il primo 10% occorre il ~40% del tempo totale di produzione

- Inoltre si possono incontrare problemi imprevisti che richiedono rilavorazioni, riparazioni o sostituzioni.

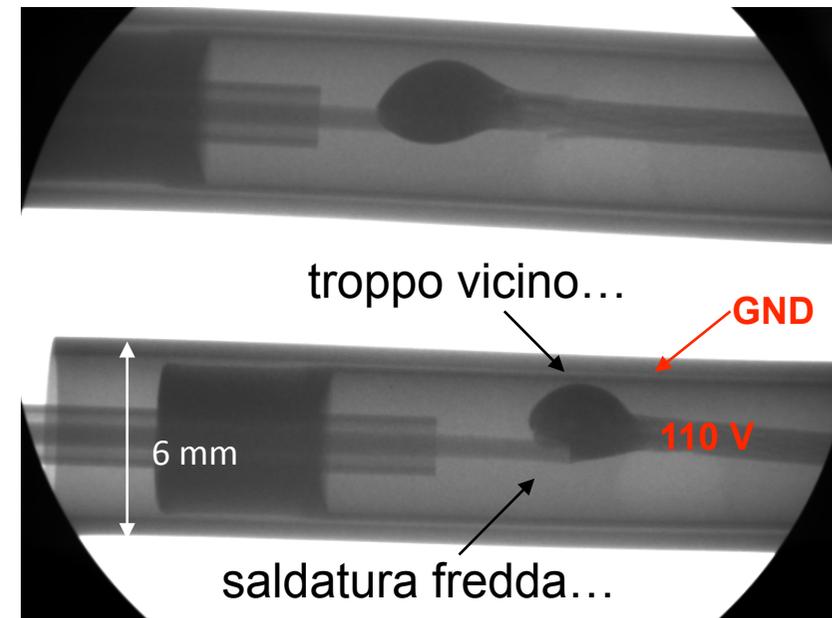
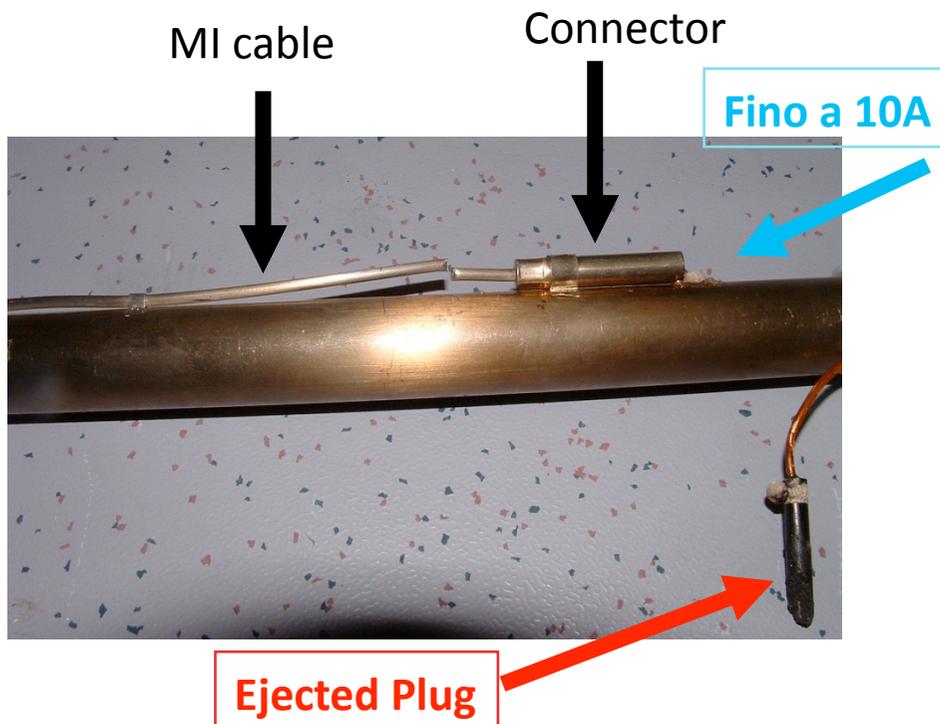


Fine della produzione



30/9/06

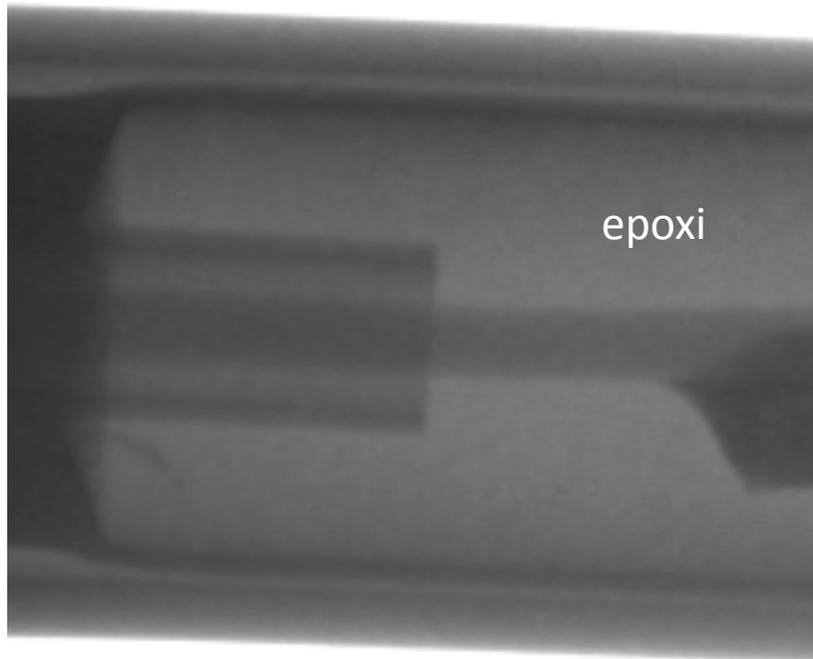
- Vediamo adesso in dettaglio il problema che ha avuto il maggior impatto sulla schedula del tracciatore di ATLAS.
- 19/2/07 espulsione del connettore di un heater (evap. cooling) durante il commissioning del barrel SCT nel pozzo.



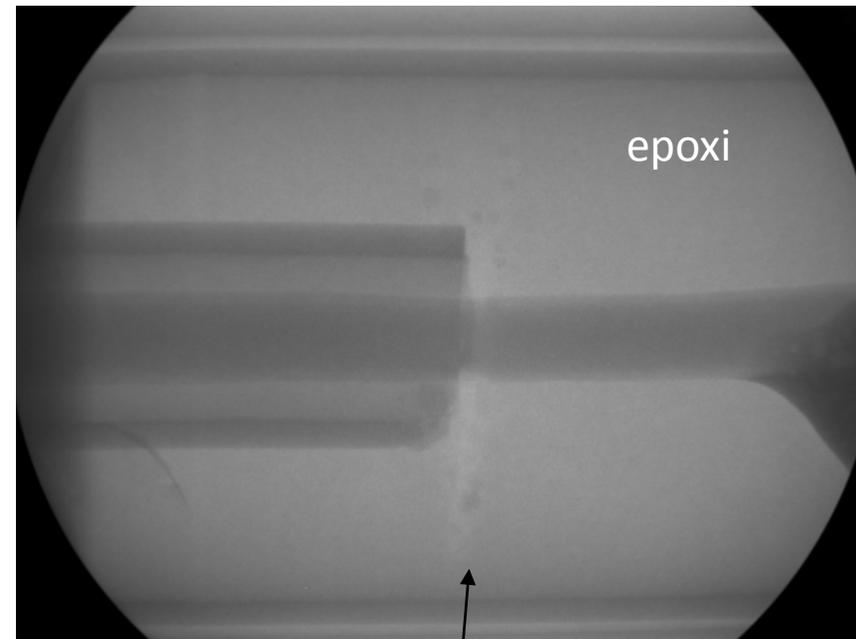
- l'analisi ai raggi-x indica problemi di conformita' geometrica e qualita' saldature nel 10% dei connettori → li cambiamo

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

**Prima**



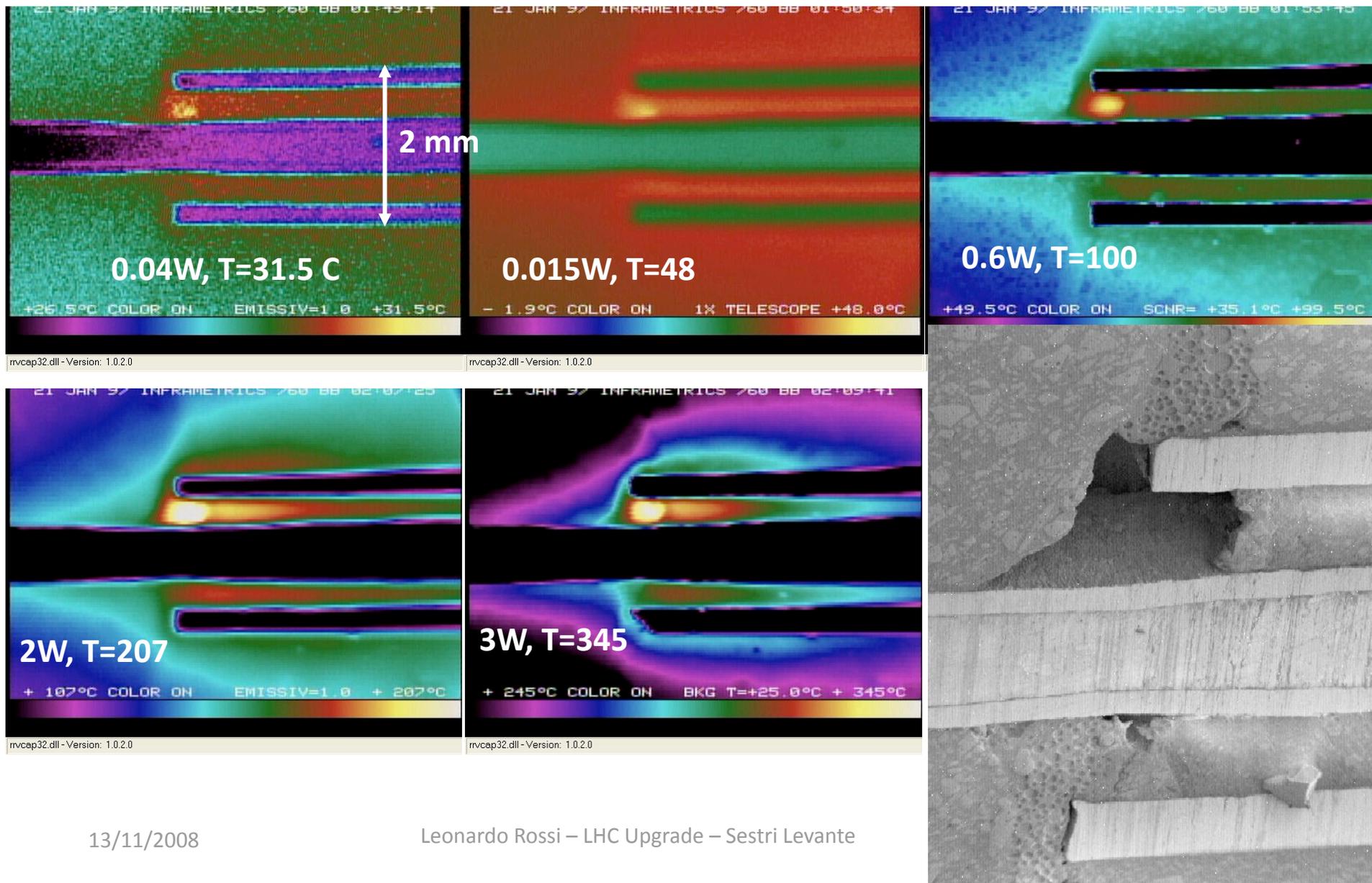
**Dopo**

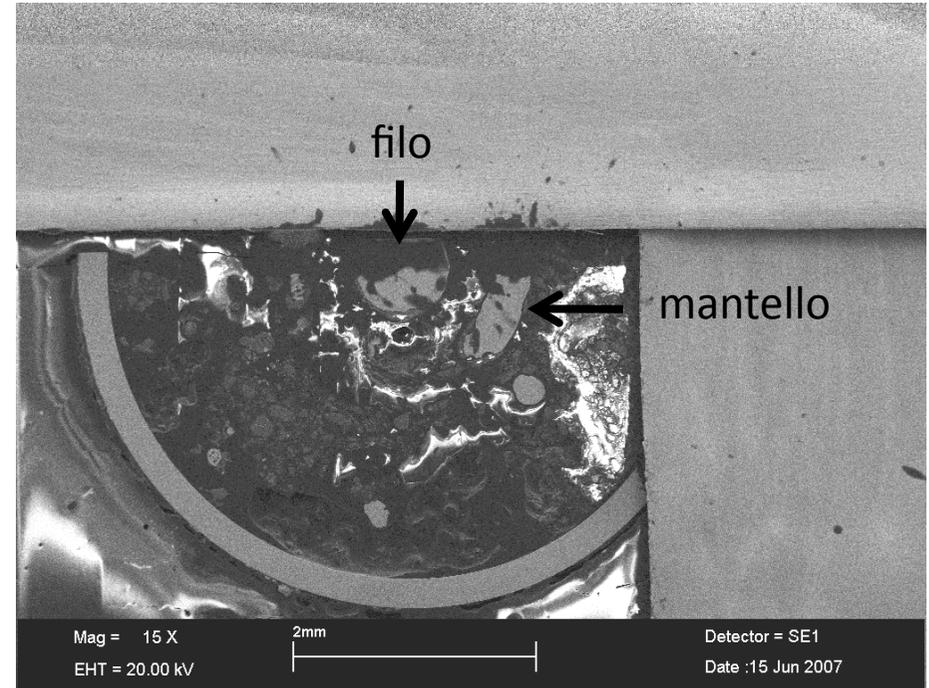
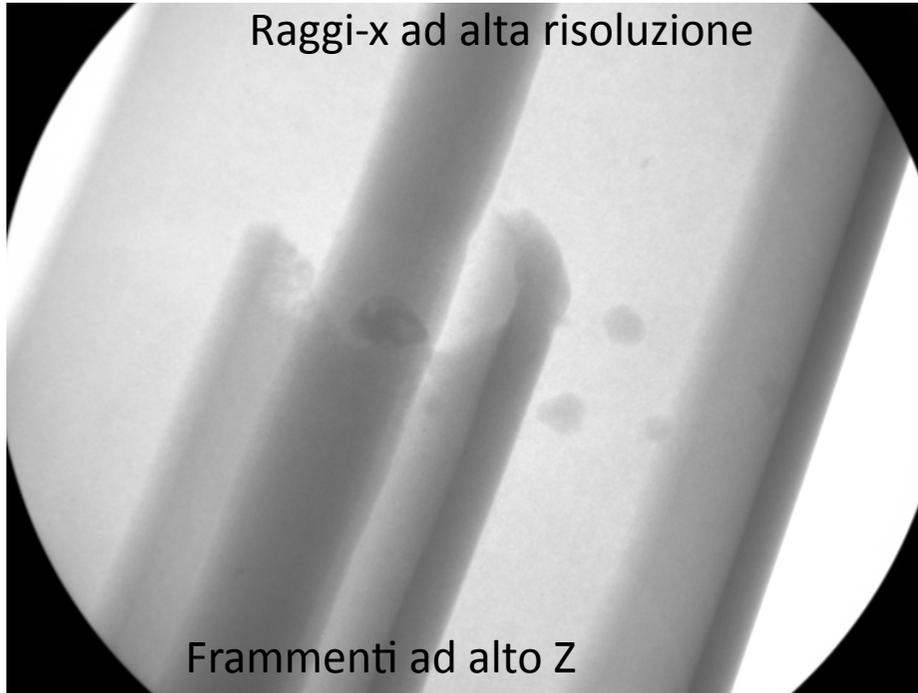


- Molte analisi fatte per capire il problema e correggere
- Nel frattempo spostati gli heaters in una zona raggiungibile (senza estrarre ID)

Fessura nell'epoxi e  
degradazione del  
mantello inox

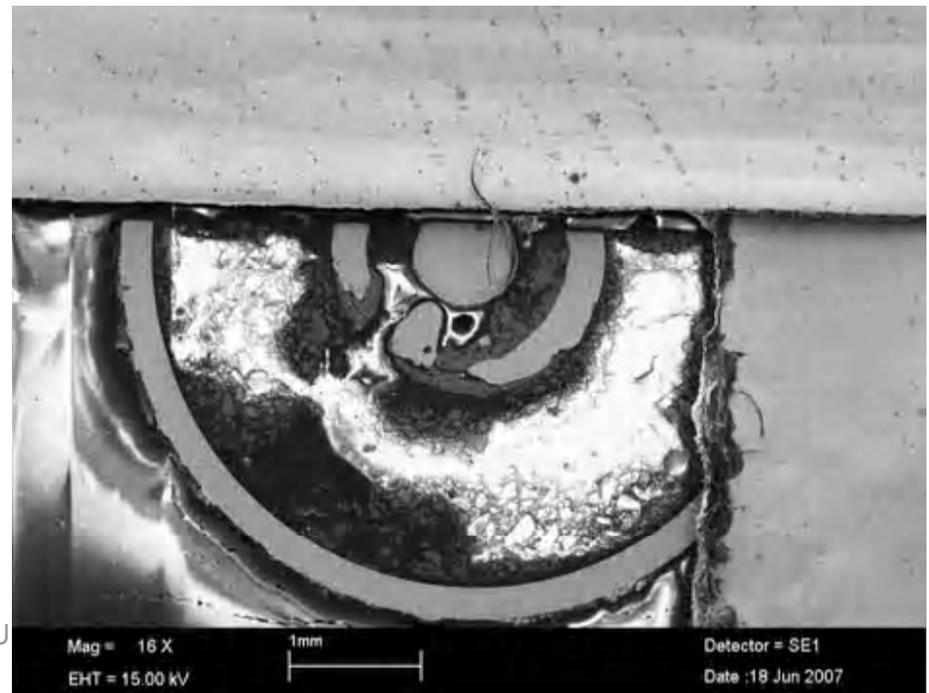
- Iniettata una corrente attraverso gli elettrodi in corto ( $38\text{ m}\Omega$ ) e misurato con termocamera di alta risoluzione.



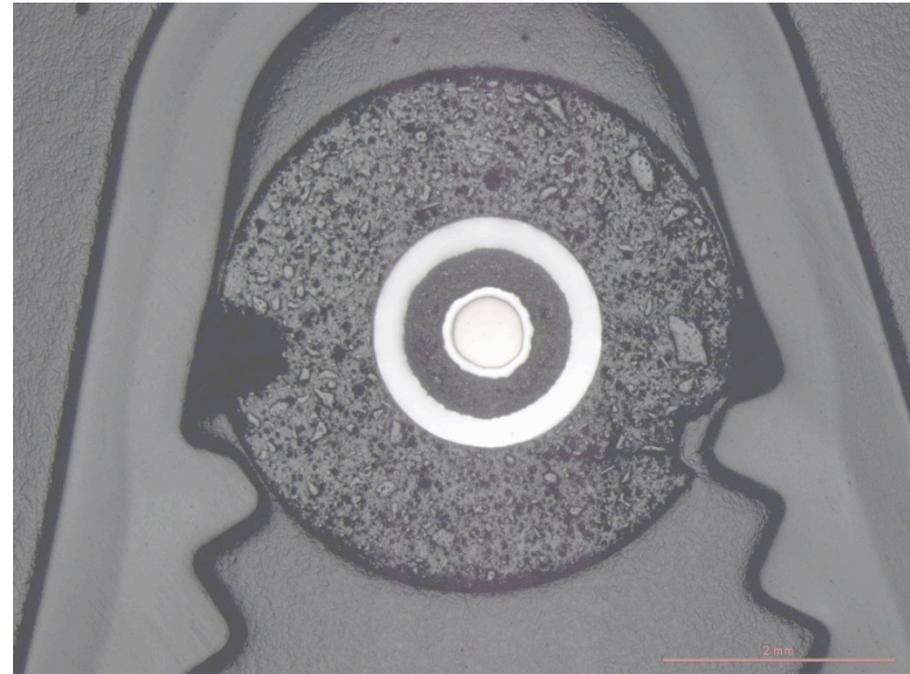


Sezione ed analisi chimica dei frammenti =  
costituiti da inox ovvero dal mantello  
intorno al filo.

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...

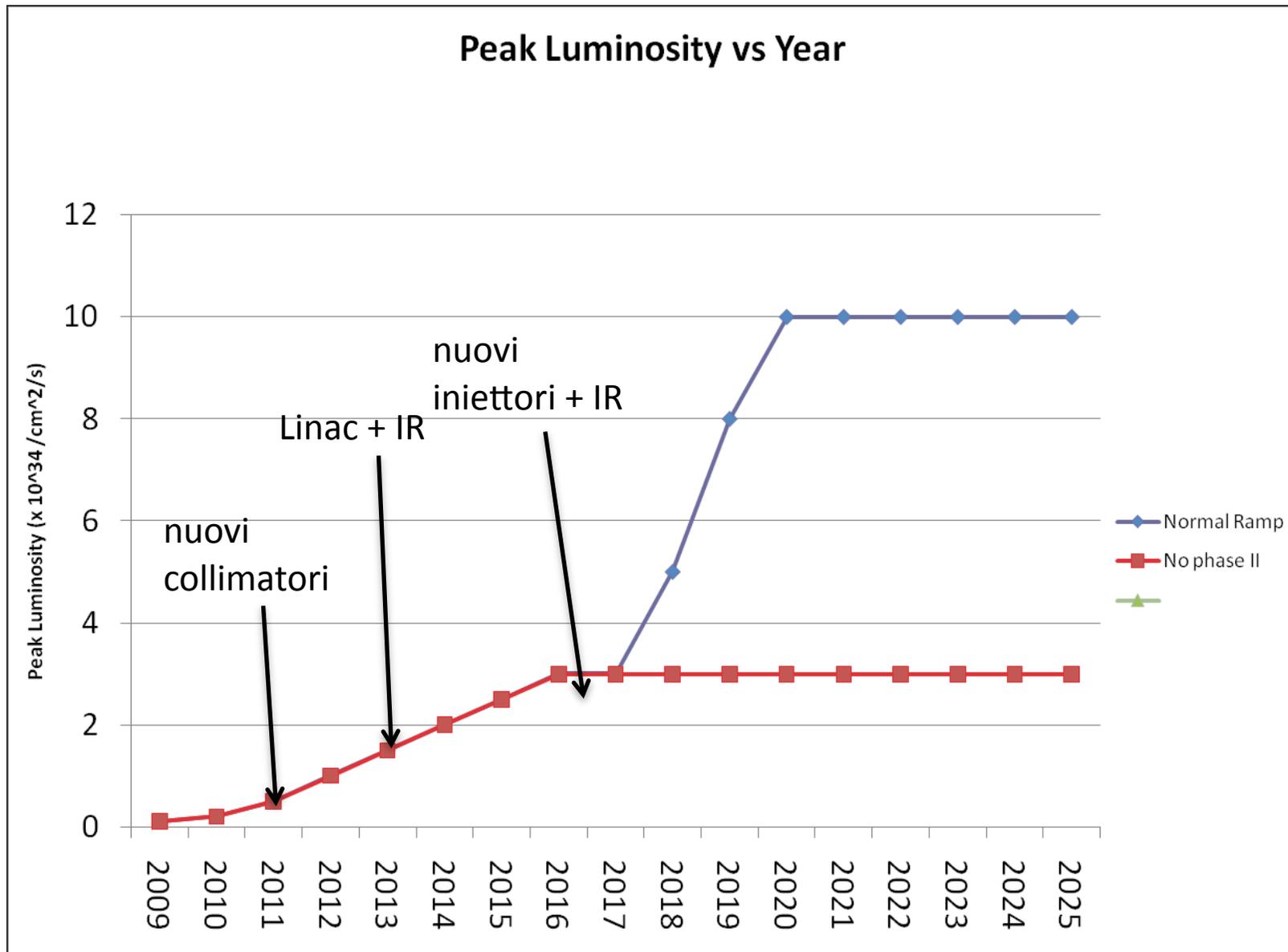
## Alcuni altri problemi durante la produzione

- 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 possibilita' tecnologiche
  - Si puo' 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, stabilita', % 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 (connession idrauliche e cooling in primo luogo)
  - Ci sono state sottostime significative delle complessita' 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 professionalita' adatte e abbia la stabilita' 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 cosi solo se si semplifica il progetto o se si cambia il modello di produzione

- Il futuro → il progetto di SHLC indica (oggi) il 2017....



- il piano x il nuovo tracciatore ATLAS coerente con SHLC

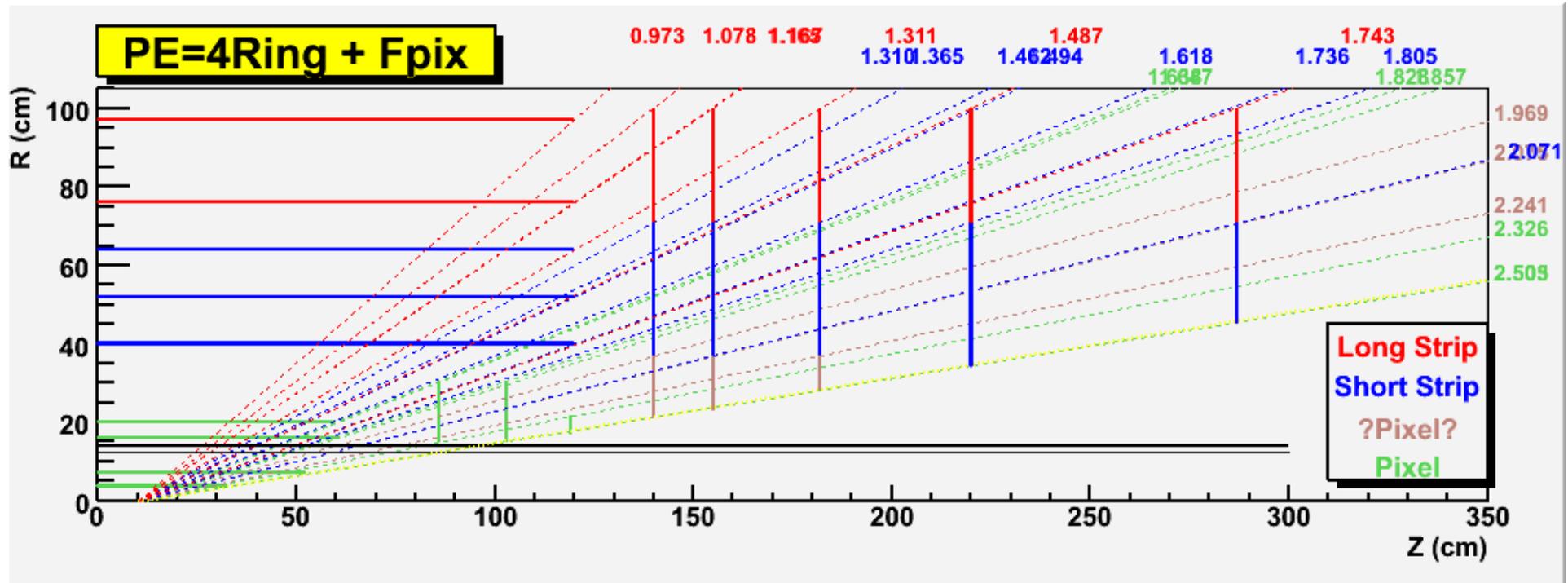
Milestone	Date
Straw Man & options fixed	Dec-06
R&D towards inner detector conceptual design	2007-2010
Technical Proposal	Apr-10
Initial MoU and Costing	Apr-11
Inner Tracker TDR	End 2011
Production readiness reviews and ramp up production	2012
New Insertable B-layer	End 2012
Procure parts, Component assembly	2012 - 2014
Surface assembly	Sep 2014 - end 2015
Surface testing	2016
Stop LHC	Sep-16
Remove old detectors, install new	Oct 2016 - Dec 2017
Commission new detectors	Jan 2018 - Mar 2018
Take data	Apr-18



**6 anni!**

Incluso lo smontaggio del rivelatore in ambiente radioattivo!!!

- il tracciatore proposto da ATLAS x SLHC e' assai complesso (4 layer pix el e 5 (doppi) layer strips).



- Personalmente non credo sia realistico costruirlo in 6 anni, se si vuole sperare di farlo
  - occorre semplificarlo e standardizzarlo quanto possibile.
  - occorre considerare un modello di produzione industriale
  - occorre cominciare presto

# Conclusioni

- Mentre la macchina procede aggiungendo parti a un complesso funzionante (quindi con una schedula piu' sicura) il tracciatore per SLHC richiede un rifacimento completo
- La schedula della macchina non sembra consentire un piano basato sulla semplice estrapolazione di quanto fatto in passato per il tracciatore
- Le principali lezioni dalla costruzione del tracciatore di ATLAS sono:
  - Dare le risorse necessarie alle tecniche dette di servizio
  - Standardizzare il piu' possibile (anche a costo di piccole perdite di performance) e risolvere i problemi solo una volta
  - Scegliere le baseline il prima possibile per non disperdere risorse
  - Considerare come elementi importanti del disegno la fault tolerance, le esigenze di commissioning e il controllo di qualita'.

