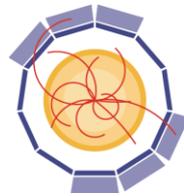




UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO



AIDA 2020

Recenti sviluppi su sensori a pixel CMOS con tecnologia LFoundry 150 nm, ams 180 nm e Tower Jazz 180 nm

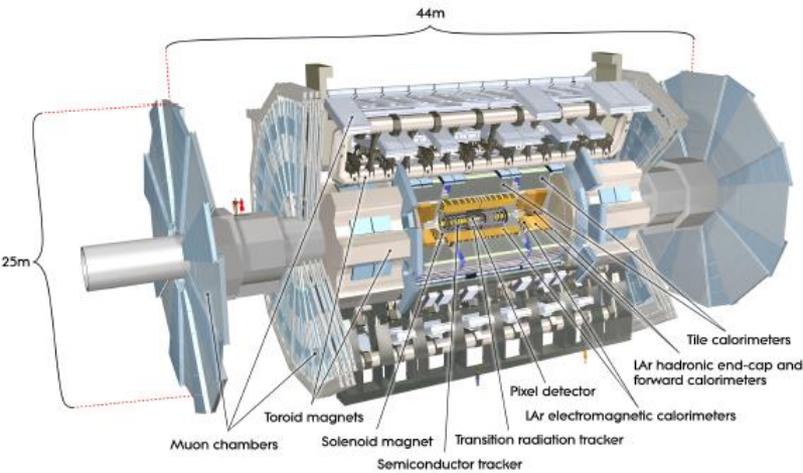
Simone Monzani INFN e Università di Milano
per HVR_CCPD (CSN5)

ATLAS CMOS R&D

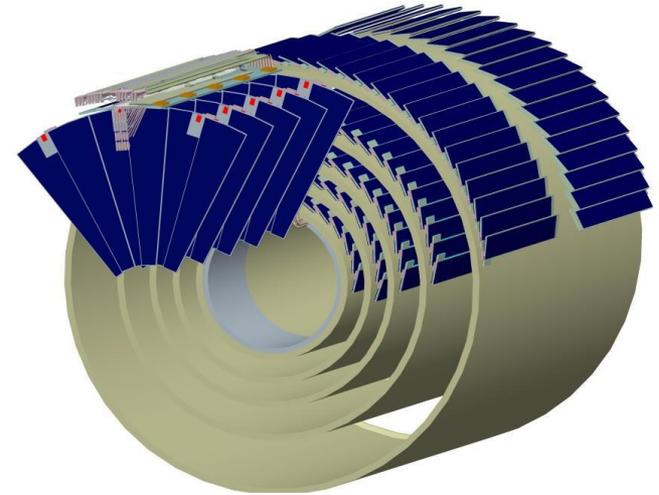


- Collaborazione con ~25 istituti ATLAS ITK
- Possibilità di attrarre anche istituti e risorse **non-ATLAS**

Introduzione



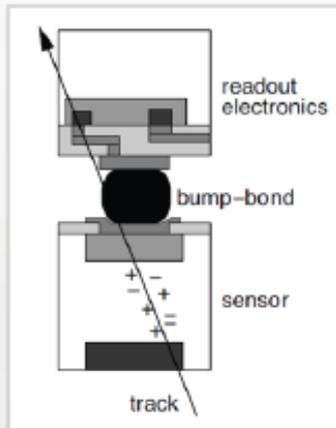
- passaggio da LHC a HL-LHC, previsto aumento di luminosità di un fattore 5
- Richiesto sistema di tracciamento ad elevata segmentazione e alta resistenza alle radiazioni
- Potenziamento del tracciatore interno (ITk), nuovo sistema tracciante interamente in semiconduttore



- ITk: 4 strati di pixel + 5 strati di strisce centrali intorno al rivelatore a pixel (fino ad 1m dal punto di interazione), 6+7 dischi nella regione in avanti (da 1 a 3m)
- Rivelatore a pixel: pixel ibridi con elettronica di lettura in TSMC 65 nm (RD53)
- Ogni strato di strisce fornisce 2 punti (fino a 10 per traccia) + 4 dai pixel
- Passo dei pixel 50×50 o $36 \times 158 \mu\text{m}^2$
- Vedi presentazione di F.Lasagni su ITk

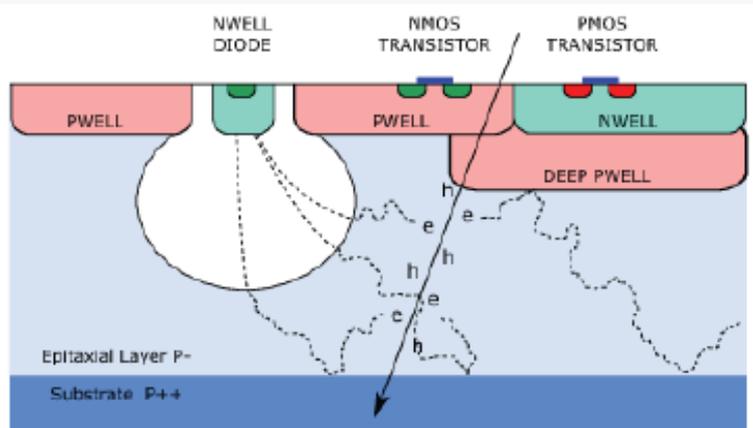
Rivelatori a pixel

- Elevata risoluzione spaziale, precisione inferiore a $10\ \mu\text{m}$
- I rivelatori possono anche differenziarsi per dimensioni dell'elettrodo di raccolta
- Lavoro di ricerca su questi rivelatori finalizzato ad inserirli negli strati centrali esterni



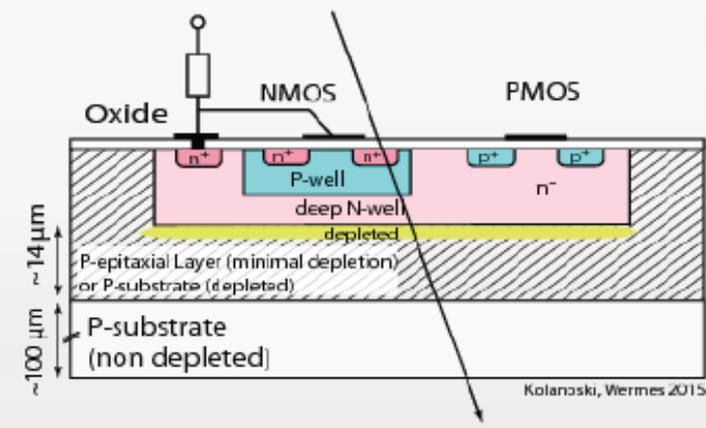
Ibridi

Raccolta di carica per deriva, resistente alle radiazioni ma richiede bump bonding (procedura legante con gocce di indio) e materiale addizionale



Monolitici MAPS

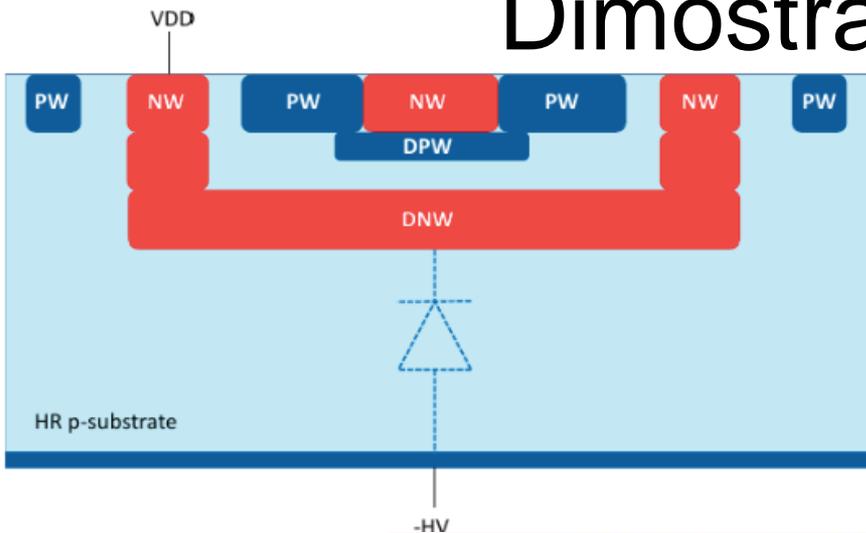
Raccolta per diffusione, lenti e limitata resistenza alle radiazioni



Monolitici DMAPS

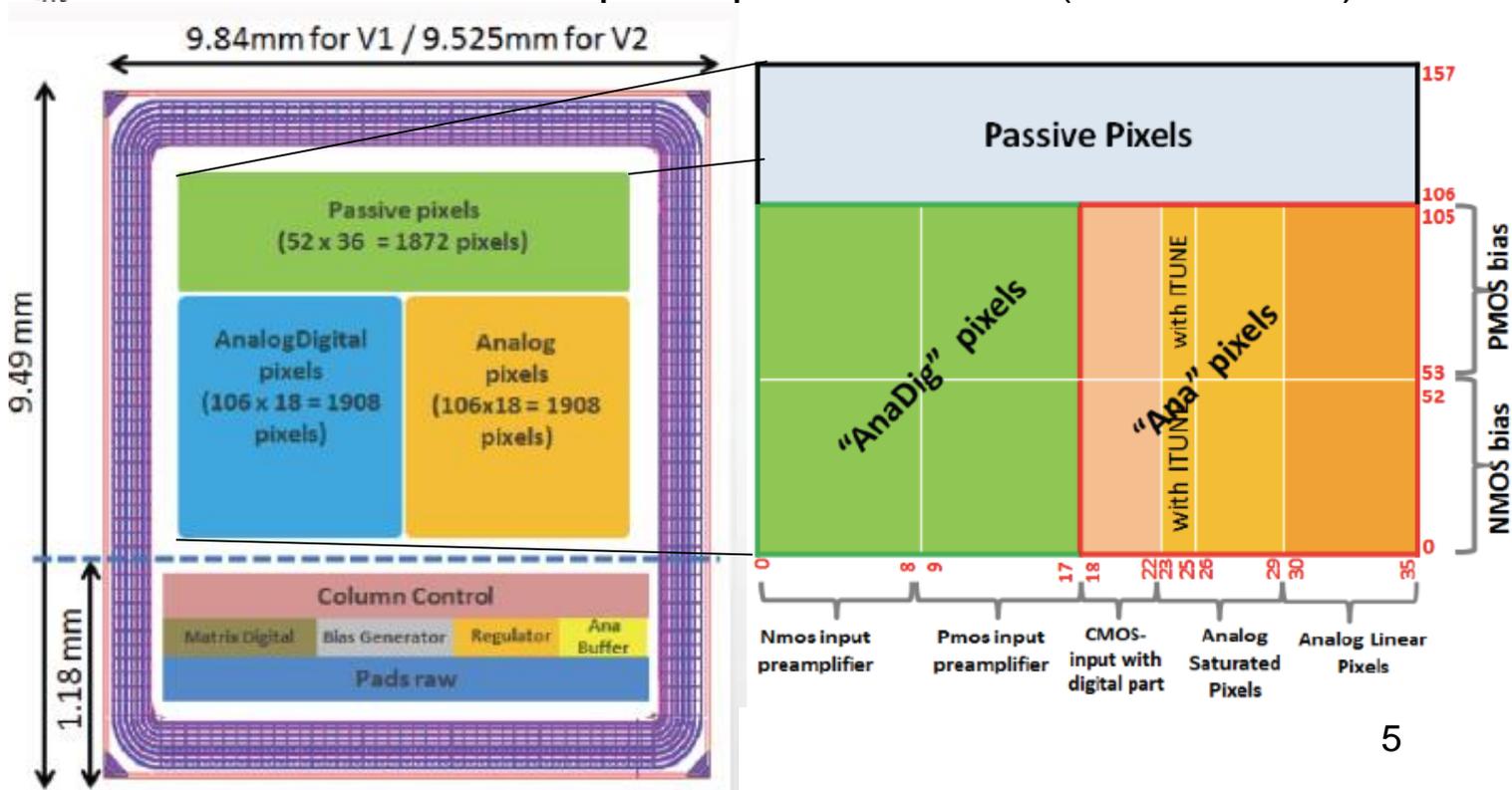
Monolitici con una regione di svuotamento: raccolta di carica per deriva, versione con elettrodo della dimensione del pixel (LFoundry, ams) o con elettrodo di dimensioni molto più piccole del pixel (TowerJazz)

Dimostratore LFCPIX



- Collaborazione con Università di Bonn, CPPM e IRFU
- Costruito in tecnologia LFoundry 150 nm
- Sensore di raccolta tra substrato di tipo p e deep n well (DNW)
- Matrice di 36 x 158 pixel, ciascuno di dimensioni 250 μm x 50 μm
- 2 prototipi LFCPIXv1/2 (risultati del 2)

- Differenza nell'elettronica di lettura
- Differente polarizzazione della DNW
- Tutti i pixel presentano una capacità di iniezione con valore nominale di 2 fF.

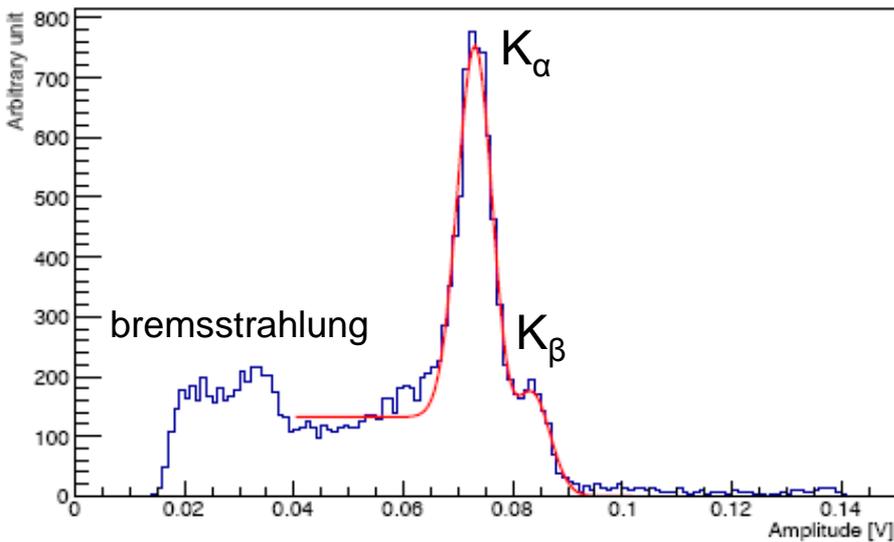


Calibrazioni

B.Jelmini

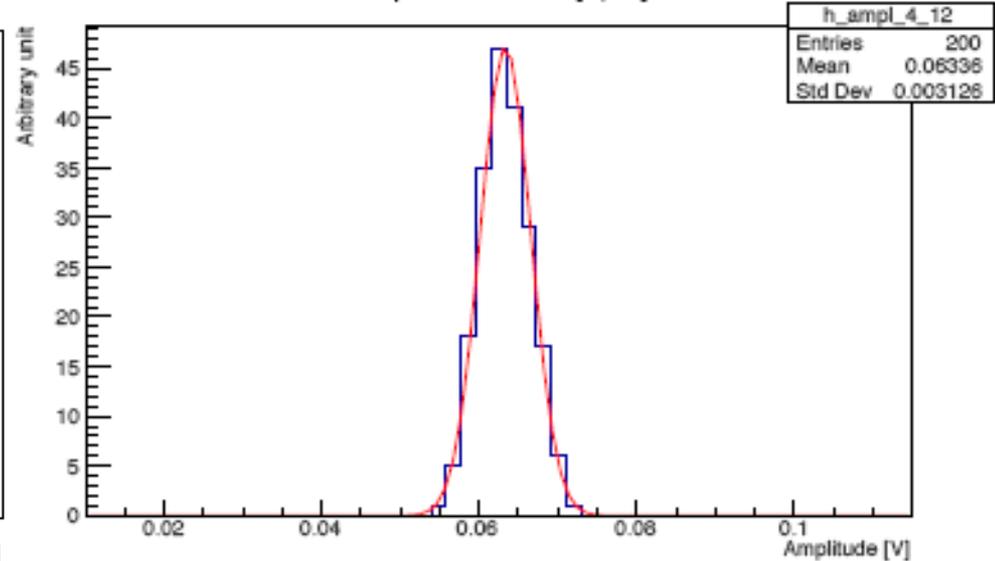
Tubo a raggi X, bersaglio di Molibdeno

Amplitude - Pixel [18,26]



Calibrazione con impulsatore

Amplitude - Pixel [4,12]



- 1500 acquisizioni
- Gaussiana + funzione degli errori complementare

- onda quadra con $V_{\text{Offset}} = 0.15 \text{ V}$, $f = 1 \text{ kHz}$
- 200 acquisizioni, funzione gaussiana
- Capacità di iniezione introduce termine di fluttuazione da pixel a pixel

$$V_{\text{peak}} = g \cdot Q_{\text{X-ray}}$$

$$Q_{\text{X-ray}} = \frac{e \cdot E_{\text{peak}}}{3.6 \text{ eV}}$$

$$E_{\text{peak}} = 15.6 \text{ keV}$$

$$V_{\text{Peak}} = k \cdot V_{\text{Pulser}}$$

$$k = g \cdot C_{\text{Inj}}$$

$$V_{\text{Pulser}} = 0.3 \text{ V}$$

Coefficiente di correlazione fra g e k maggiore di 0.99 per tutte le tipologie di pixel ⁶

Correlazione e capacità di iniezione

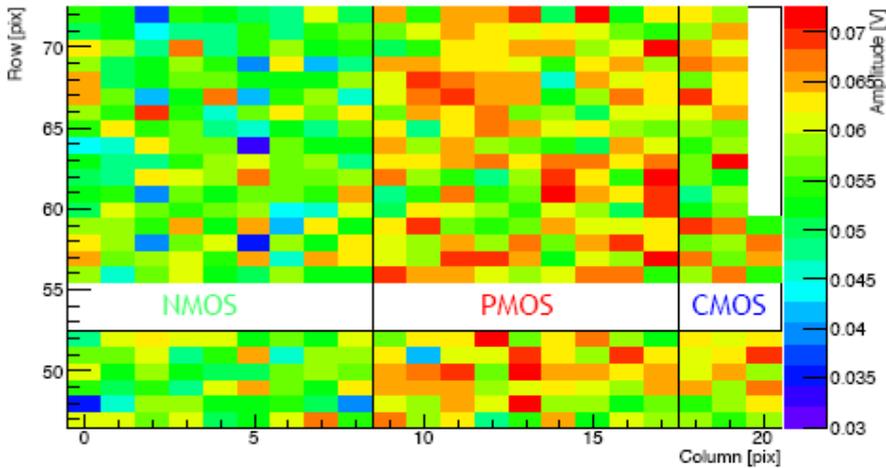
B.Jelmini

PMOS: $V = 0.062$ V, $\sigma = 10\%$.

NMOS: $V = 0.054$ V, $\sigma = 12\%$.

CMOS: $V = 0.061$ V, $\sigma = 8\%$.

Amplitude 2D

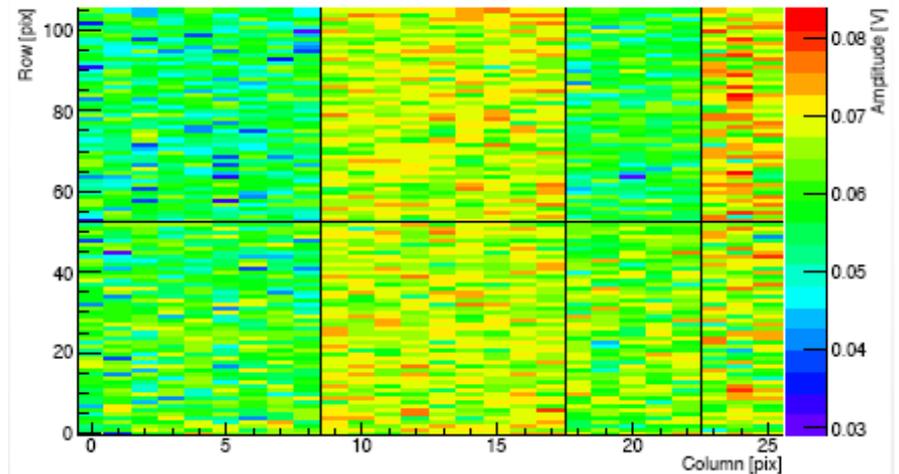


PMOS: $V = 0.068$ V, $\sigma = 7\%$.

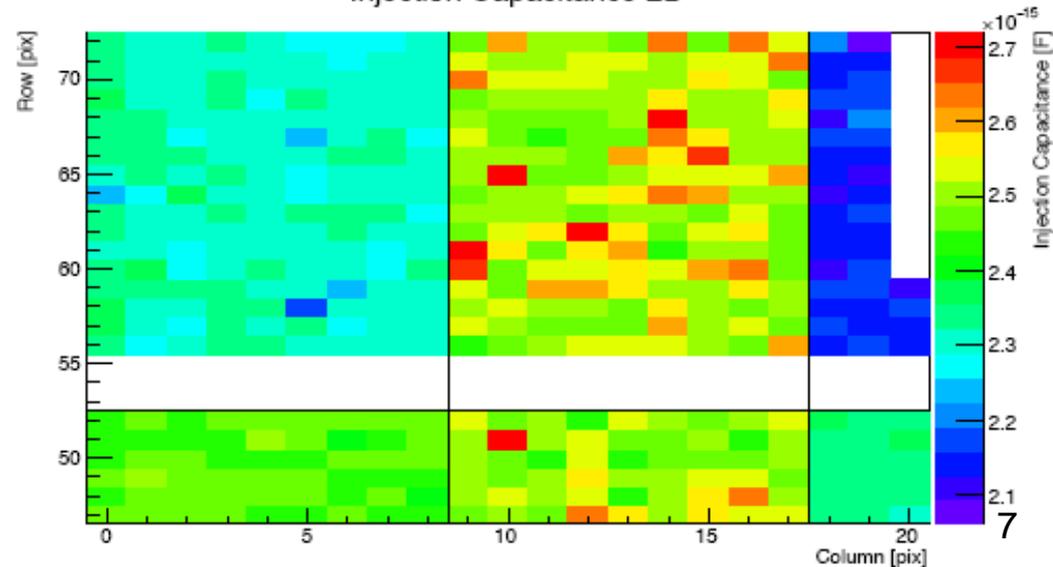
NMOS: $V = 0.057$ V, $\sigma = 13\%$.

CMOS: $V = 0.060$ V, $\sigma = 10\%$.

Amplitude 2D



Injection Capacitance 2D



- $V_{\text{pulser}} = 0.3$ V per avere la stessa ampiezza di K_{α}

- Da calibrazione con iniezione:

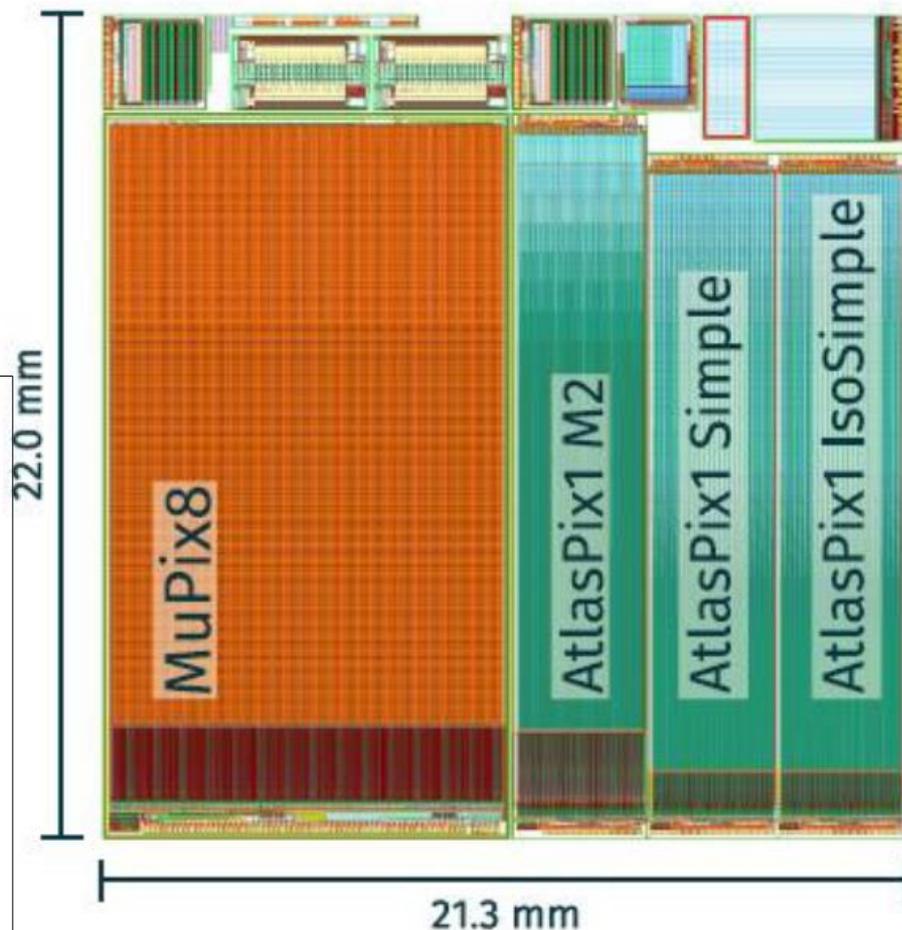
$$V_{\text{Peak}} = k \cdot V_{\text{pulser}} = g \cdot C_{\text{inj}} \cdot V_{\text{pulser}}$$

$$C_{\text{inj}} = \frac{k}{g}$$

- $C_{\text{inj}} = 2.41$ fF, $\sigma = 5.4\%$

Dimostratori di ams

- Prototipi monolitici
- Processo aH18 a 180 nm di ams (Austria MicroSystems)
- 2 chips: MuPix8 e ATLASPix1
- MuPix8 (esperimento mu3e a PSI), Matrice con 144 colonne, 200 pixel/colonna, ciascun pixel di dimensioni $80 \mu\text{m} \times 81 \mu\text{m}$
- ATLASPix1, versione M2 con periferia completa, versioni Simple con lettura continua, senza trigger



Deep n-well

n-well

p-well

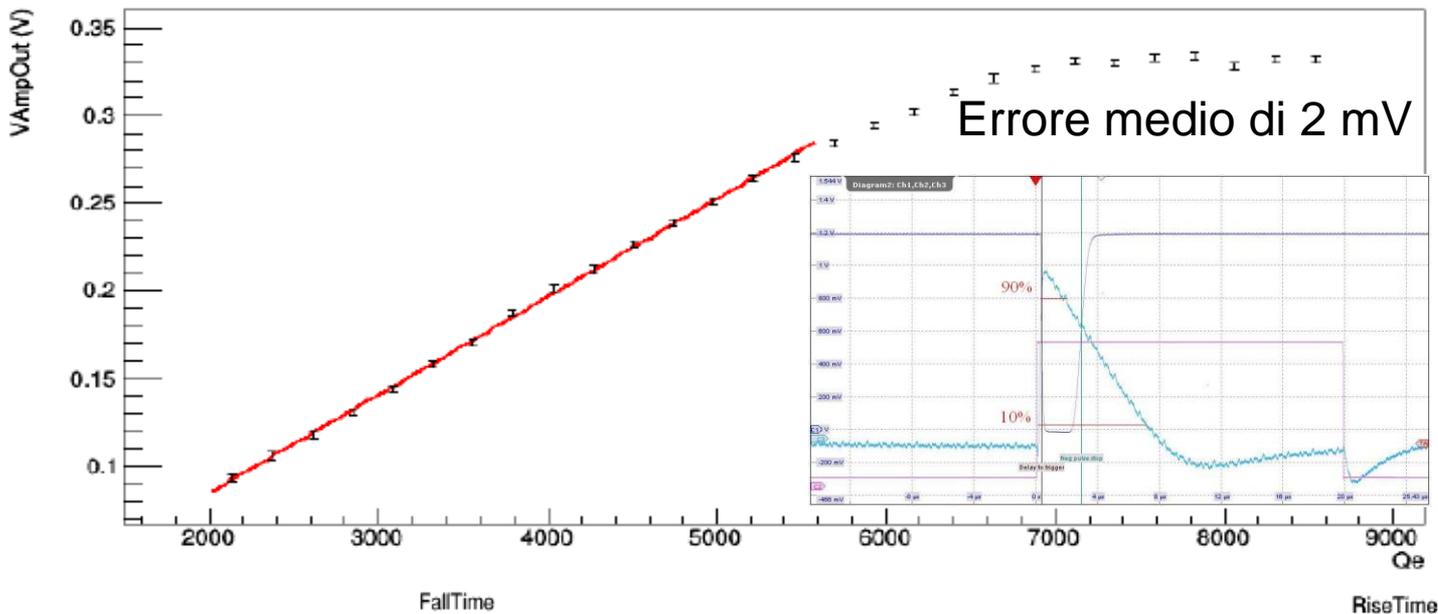
n-well

- Deep n-well usata come elettrodo per la raccolta di carica
- I transistor PMOS hanno un collegamento ohmico con la deep n-well
- Attesa resistenza alle radiazioni fino a $5 \times 10^{15} n_{eq}/\text{cm}^2$ e 1000 MRad

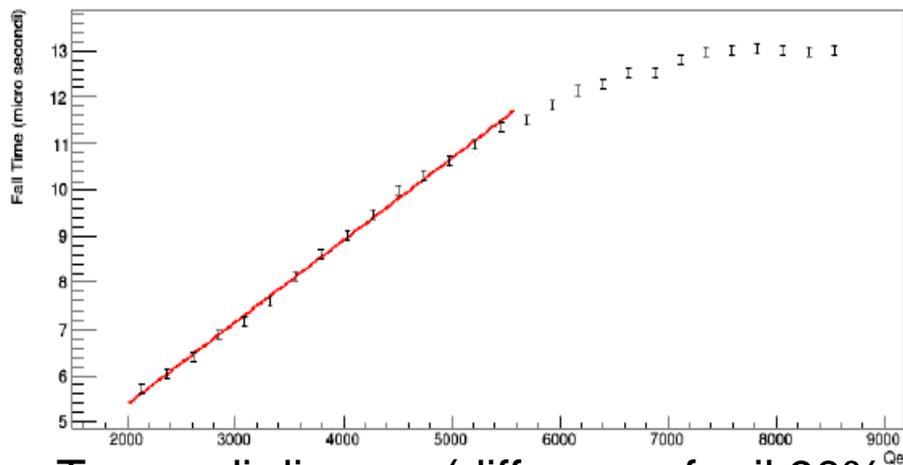
Segnale, tempi di salita e discesa

Amplificatore

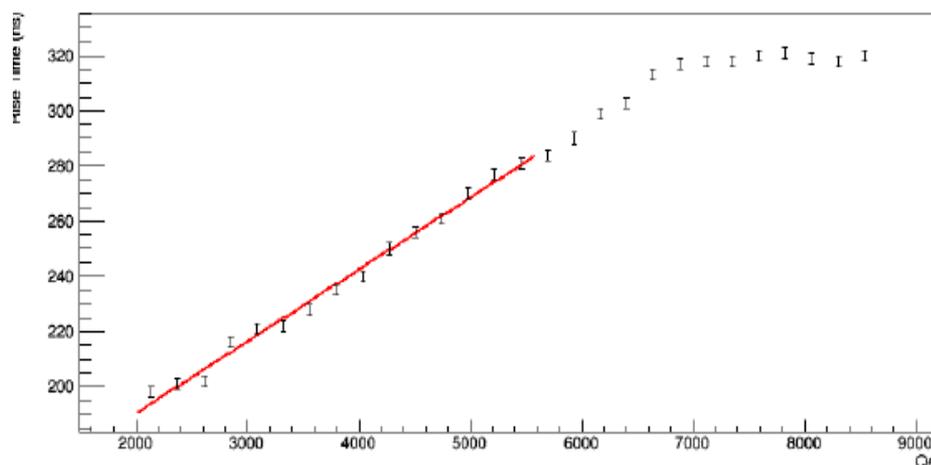
P.Moraschi



- Risultati preliminari su un solo pixel
- Comportamento lineare fino a circa 6000 elettroni per tutte le distribuzioni



Tempo di discesa (differenza fra il 90% ed il 10% della parte discendente dell'impulso)



Tempo di salita (differenza fra il 90% ed il 10% del fronte di salita)

Efficienza e parametri

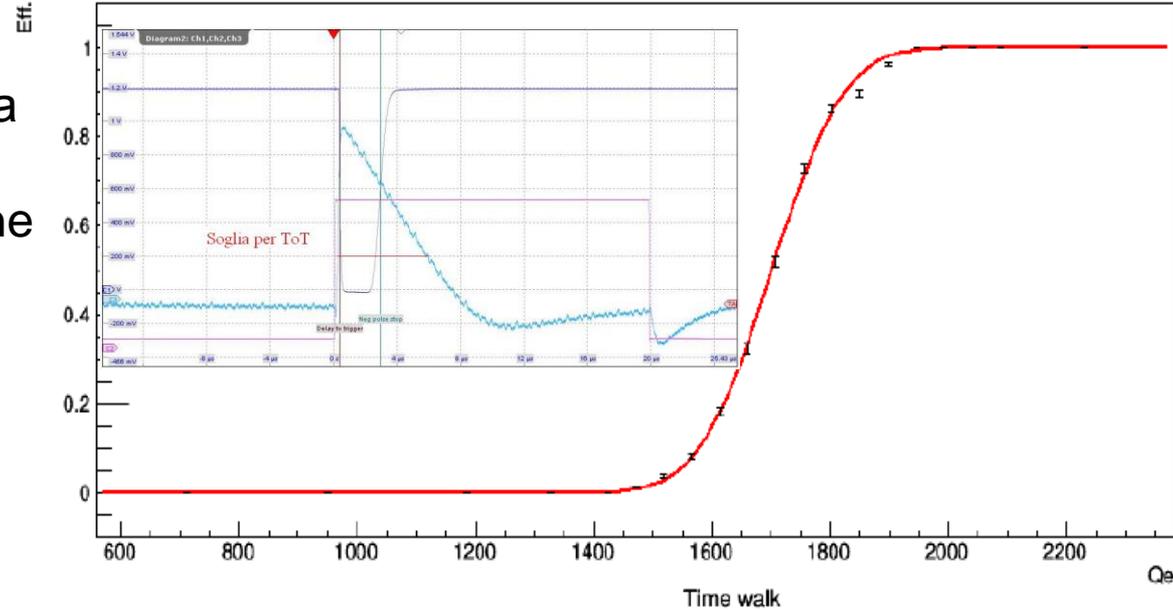
VHitBus/Vmax

P.Moraschi

- Efficienza studiata usando l'uscita del discriminatore, media di 2000 impulsi
- Interpolazione con una funzione degli errori

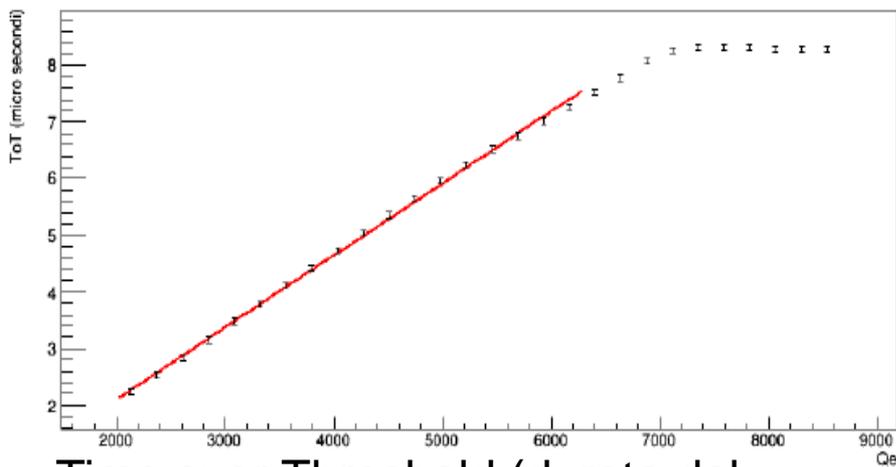
$$Q_e = \frac{V_{inj} \cdot C_{inj}}{q}$$

$$C_{inj} = 0.76 \text{ fF}$$

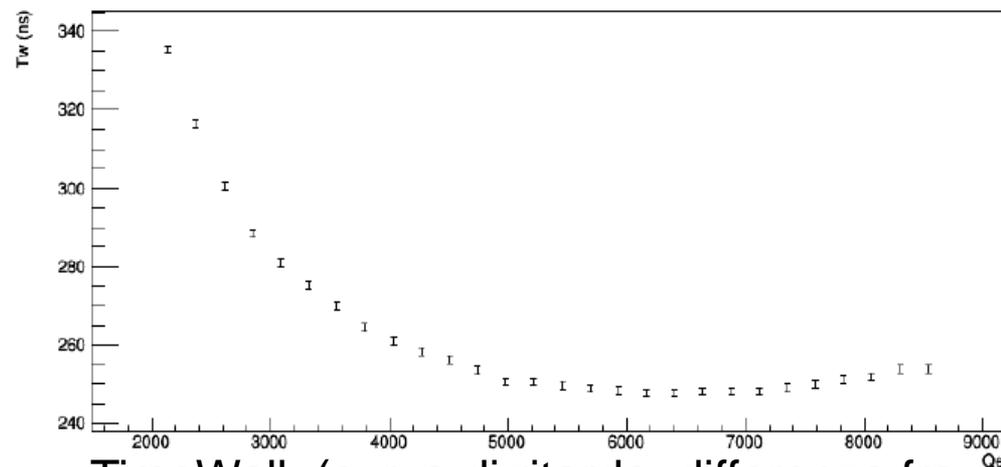


Time over threshold

Time walk

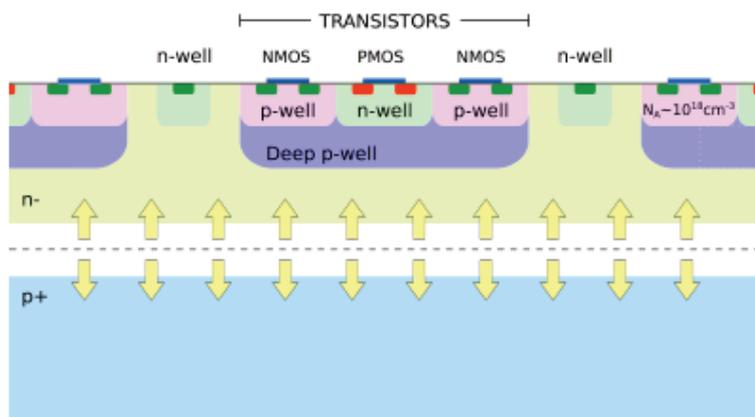


Time over Threshold (durata del segnale, calcolata dall'uscita del discriminatore)



TimeWalk (curva di ritardo, differenza fra tempo di iniezione e scatto del discriminatore)

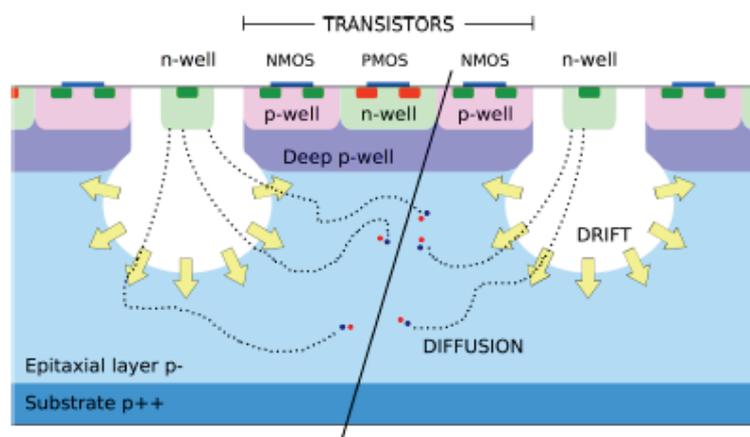
Dimostratore Tower Jazz



Modificato

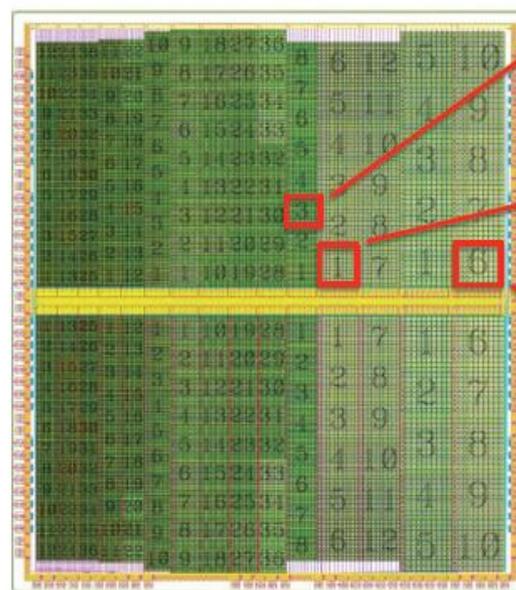
- Bassa capacità dell'ordine del fF
- Segnali veloci
- La differenza è una giunzione planare lungo l'intera sezione
- resistente alle radiazioni

- Test beam all'SPS del CERN durante il 2017
- Irraggiamento con pioni da 180 GeV



Standard

- Difficile svuotamento laterale
- poco resistente alle radiazioni



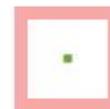
Minimatrix 106

- Pixel size $30 \times 30 \mu\text{m}^2$
- Electrode size $3 \times 3 \mu\text{m}^2$
- Opening $3 \mu\text{m}$



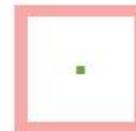
Minimatrix 112

- Pixel size $40 \times 40 \mu\text{m}^2$
- Electrode size $3 \times 3 \mu\text{m}^2$
- Opening $30 \mu\text{m}$



Minimatrix 129

- Pixel size $50 \times 50 \mu\text{m}^2$
- Electrode size $3 \times 3 \mu\text{m}^2$
- Opening $40 \mu\text{m}$



Efficienze e correzioni

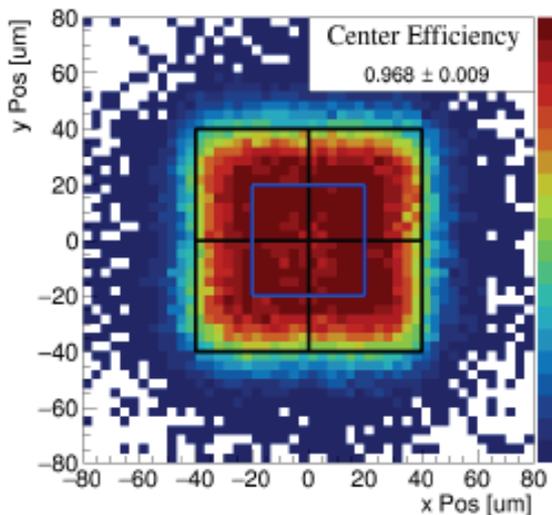
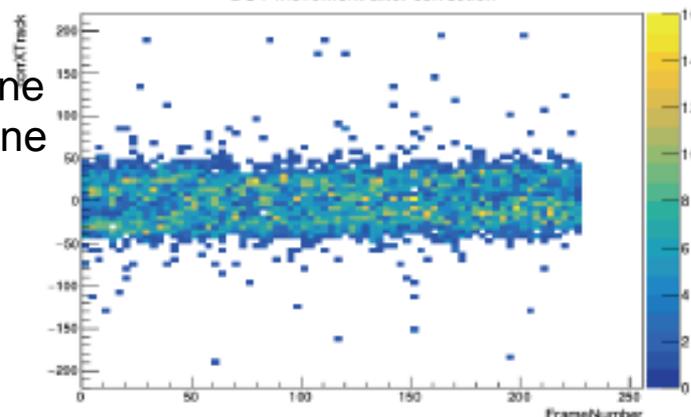
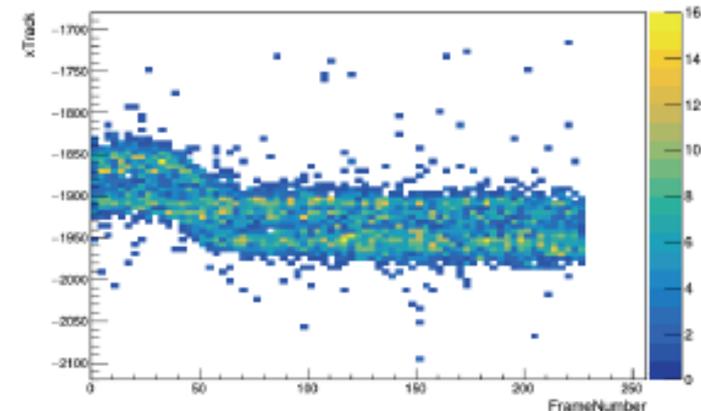
<http://iopscience.iop.org/1748-0221/12/06/P06008>



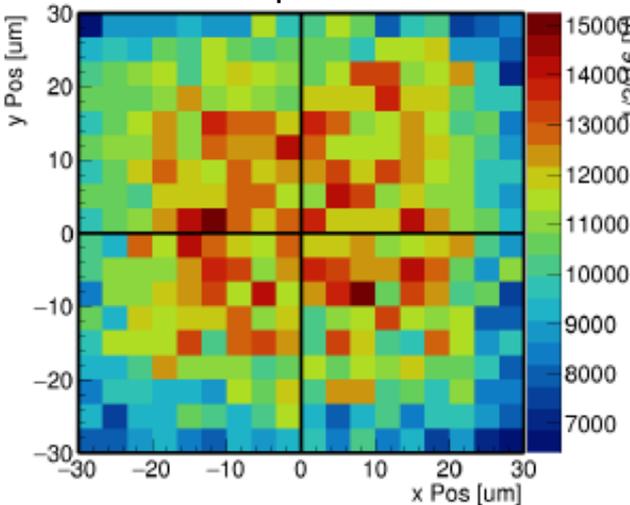
DUT movement before correction

DUT movement after correction

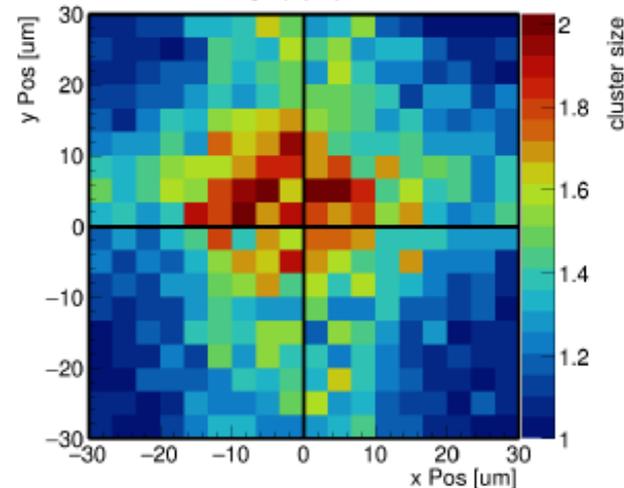
Correzione di posizione
dovuta all'evaporazione
del ghiaccio secco



Amplitude



Cluster



- Irradiati 30 μm pixel con 10^{15} n/cm², spaziatura di 30 μm , elettrodo 3 μm
- Tecnologia che può essere proposta per l'anello esterno dell'ATLAS ITk

Dimostratore Tower Jazz



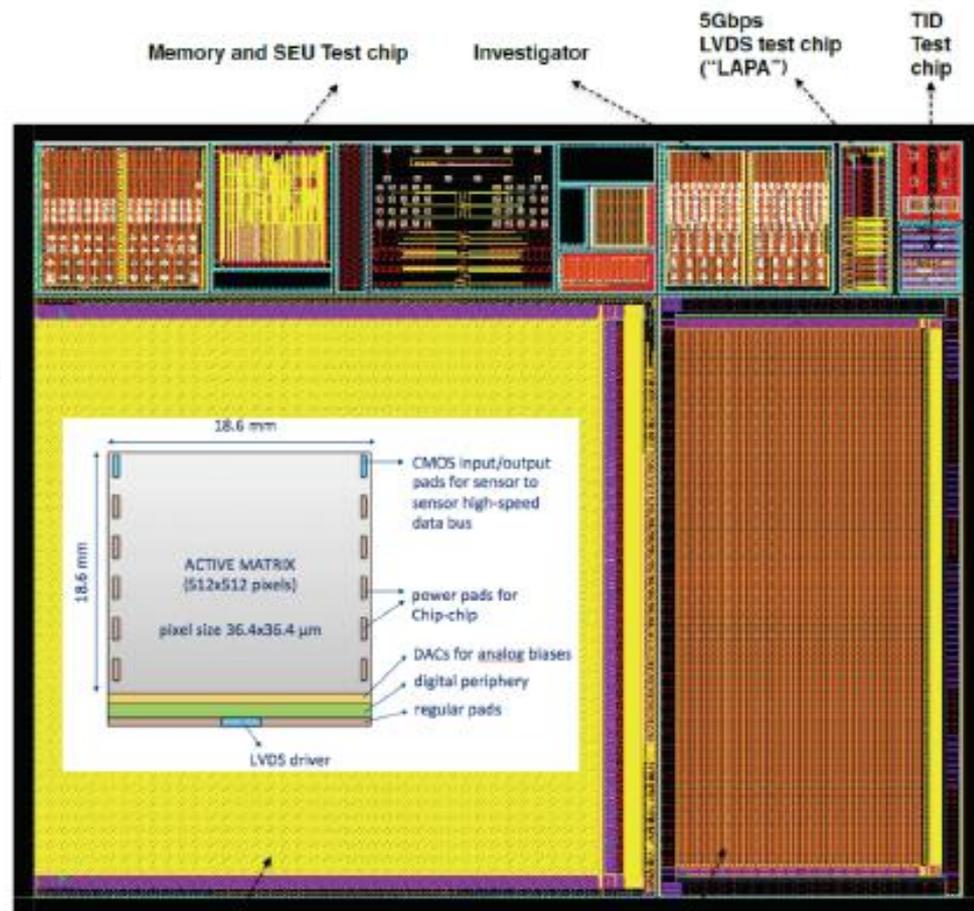
Consegnati i primi prototipi TJ monolitici con il nuovo processo

MALTA

- 20x22mm (dimensioni piene Itk)
- 512x512 pixels
- Dimensione del pixel di $36.4 \times 36.4 \mu\text{m}^2$
- Sistema di lettura totalmente asincrono
- Sistema di lettura veloce con taglio di impulso (no ToT)
- Informazione di carica presa dalla misura di timewalk
- 40 bits di memoria in uscita
- alta velocità di trasmissione dati da sensore a sensore
- distribuzione di potenza fra chip e chip

MONOPIX

- 20x10mm (metà dimensione ITk)
- 512x256 pixels
- $36.4 \times 40.0 \mu\text{m}^2$ pixel size
- Sistema di lettura ereditato da MALTA, senza taglio di segnale (misura di ToT)
- Classica architettura "in piletta"



Conclusioni

Investigate diverse tecnologie di depleted-MAPS per HL-LHC

- LFoundry: Risultati promettenti, studio delle sistematiche da approfondire, da finalizzare la caratterizzazione
- AMS: L'efficienza di MuPix8 raggiunge il plateau a circa 1900 elettroni, comportamento lineare dei tempi di salita e discesa e del ToT fino a 6000 elettroni
- LFoundry: Variabilità di guadagno dei pixel LFCPIX anche all'interno della stessa tipologia ($\sigma_{\max} = 15\%$), non dipendente dalla diversa polarizzazione della DNW, PMOS maggior guadagno e σ minore, capacità di iniezioni misurata pari a 2.41 fF, correlazione fra le 2 misure sempre superiore al 99%

Nel complesso

- Proposta di utilizzo negli strati esterni dei pixel di ATLAS
- Il prossimo passo sarà un chip con le specifiche per ATLAS entro un anno (decisione entro il 2019)

Ringraziamenti

- Per l'opportunità di presentare ad IFAE
- Ai colleghi della collaborazione HVR_CCPD per l'aiuto nella preparazione della presentazione
- A Toko Hirono e Norbert Wermes dell'Università di Bonn per LFCPIX
- Ad Ivan Peric e Felix Ehrler per MuPix8
- Al TJCMOS Test Group del CERN per i test sui sensori TowerJazz
- Ad Andrea Castoldi e Chiara Guazzoni del Politecnico di Milano per il supporto delle misure con sorgente a raggi X

Lavoro parzialmente finanziato da INFN HVR_CCPD e dal progetto AIDA-2020 EU-INFRA Proposal n°654168