

# R&D Comune Pixel Fase-2 ATLAS-CMS

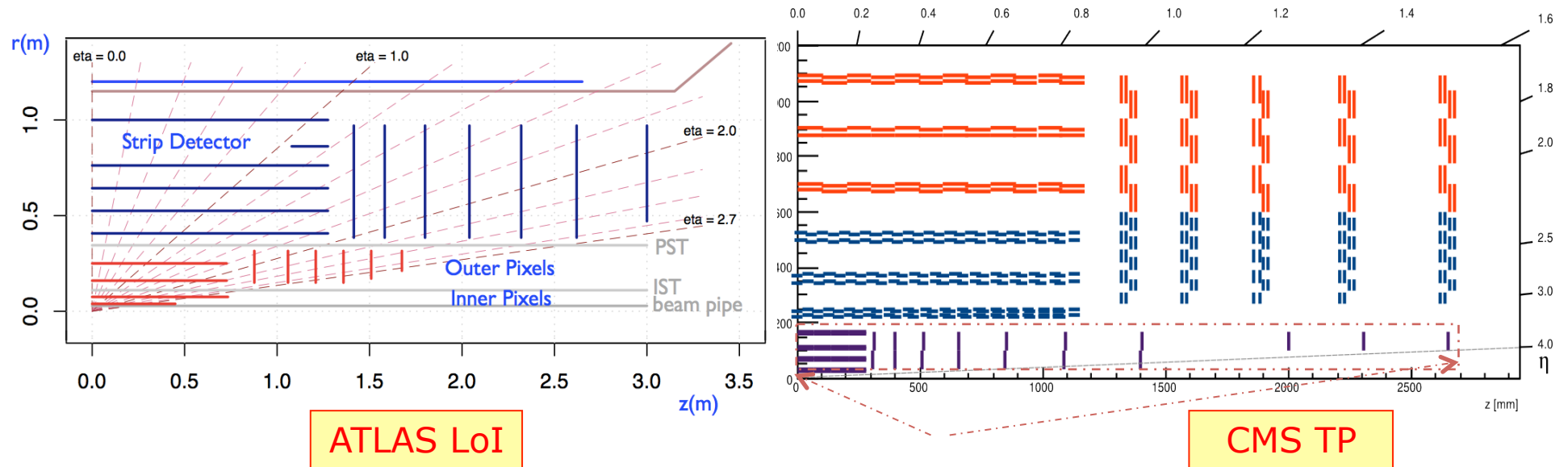
Marco Meschini – Nanni Darbo

A nome del gruppo R&D ATLAS-CMS

Incontro Referee RD\_fase2

Pisa 23 Settembre 2014

# I Nuovi (Possibili) Tracker per Fase-2



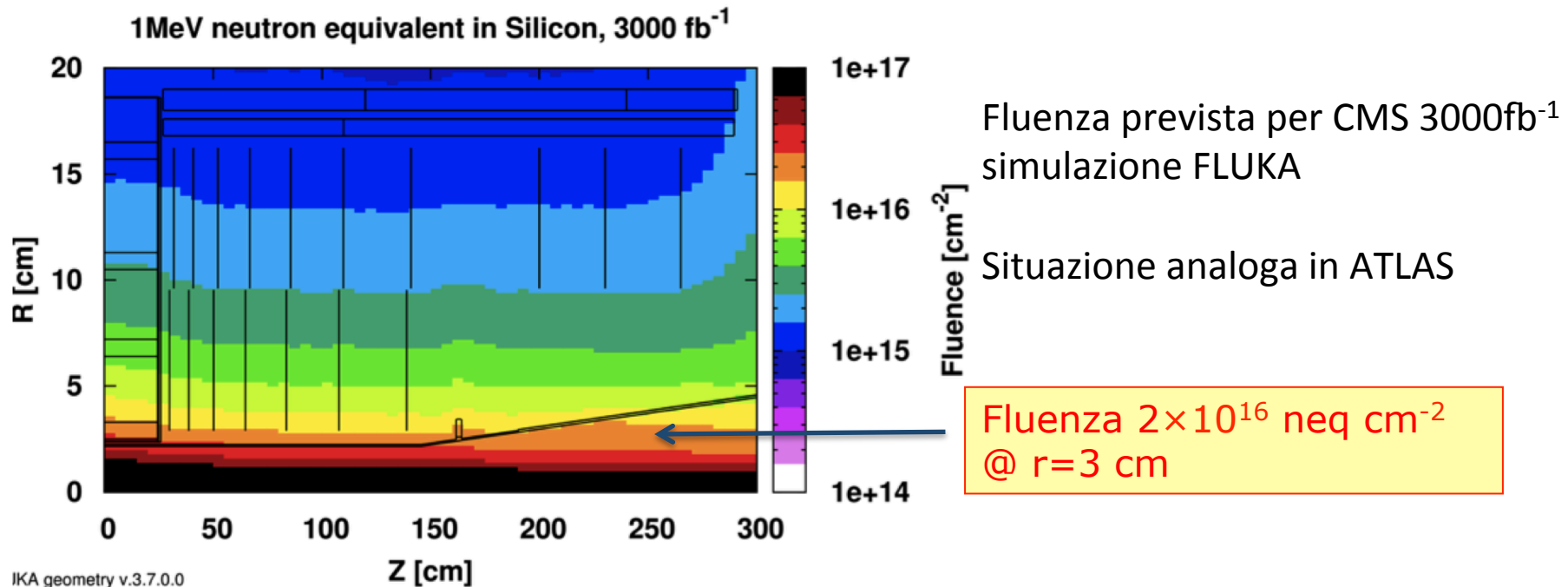
ATLAS Area pixel  $5.1\text{m}^2$  Barrel +  $3.1\text{m}^2$  Disk;  
Area singolo pixel  $\sim 2500\mu\text{m}^2$

CMS Area pixel  $1.6\text{m}^2$  Barrel +  $2.0\text{m}^2$  Disk;  
Area singolo pixel  $\sim 2500\mu\text{m}^2$

Luminosita' Integrata Fase-2:  
 $3000\text{ fb}^{-1}$   
Pile-up: 140-200

- Layout non eccessivamente diversi tra ATLAS e CMS (campo magnetico differente)
- Problematiche da affrontare molto simili
- I layout sono ancora in corso di evoluzione: possibili ottimizzazioni su numero di layer/dischi, posizionamento

# Caratteristiche richieste per i nuovi tracciatori a pixel



Le sfide del rivelatore a pixel →

- Estrema resistenza alle radiazioni
- Copertura geometrica ermetica e riduzione al minimo zone inefficienti (sensori e servizi)
- Material budget: sensori, raffreddamento, cavi, strutture meccaniche
- Aumento granularità, identificazione vertici (contrasto al pile-up)
- Mantenere/migliorare le prestazioni in  $p_T$
- Alimentazione LV e HV
- Elettronica di lettura e trasmissione al back-end

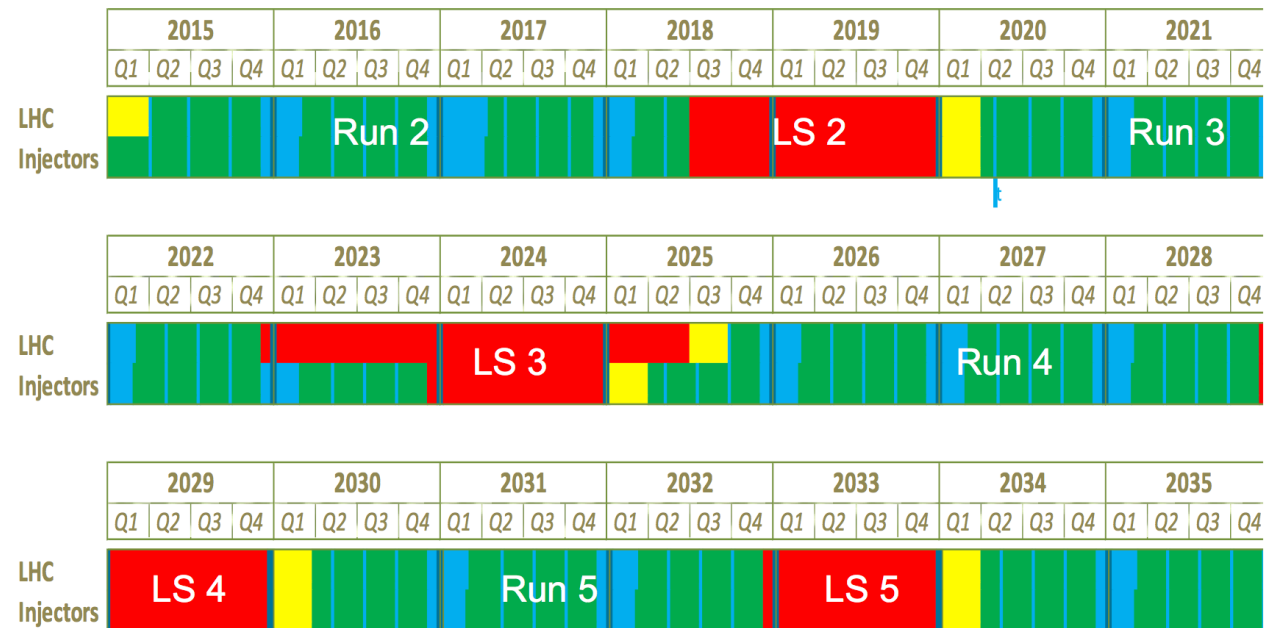
# Evoluzione di LHC

Only EYETS (19 weeks) (no Linac4 connection during Run2)

LS2 starting in 2018 (July) 18 months + 3months BC (Beam Commissioning)

LS3 LHC: starting in 2023 => 30 months + 3 BC

injectors: in 2024 => 13 months + 3 BC

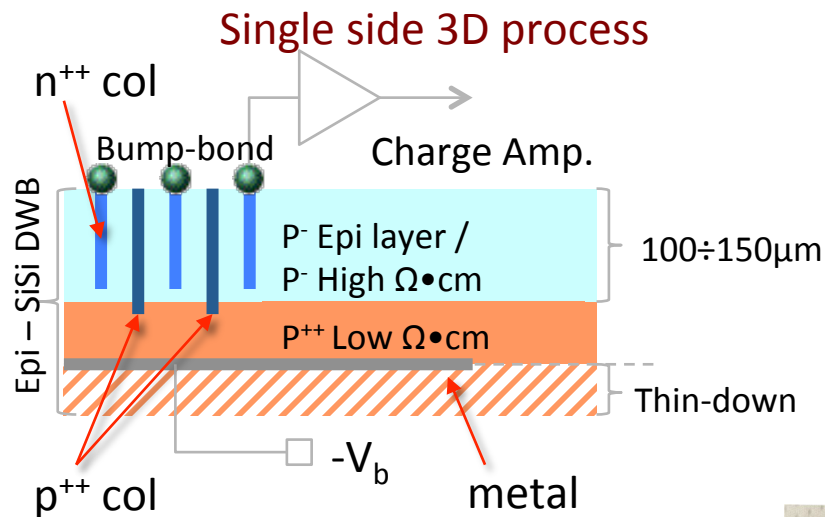


Le tappe sono fissate, non ci sono cambiamenti in calendario  
 Fase-1 finisce nel 2022, poi 2.5 anni di LS3 e quindi Fase-2

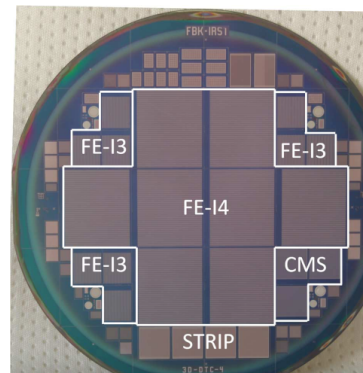
# Le linee R&D ATLAS-CMS

- Studio di rivelatori a pixel ottimizzati per gli strati interni, piu' vicini alla linea di fascio

FBK: Nuova Tecnica 3D single side su DWB da provare in questo R&D



Esempio di sensori pixel 3D su wafer 4" realizzato da FBK: per l'R&D è strategica la collaborazione con l'industria italiana in vista della competizione per HL-LHC



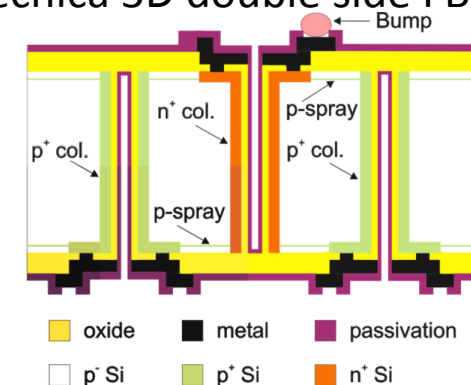
Marco Meschini

- Ottimizzazione del design:

- Materiale del bulk (Baseline p-type)
- Spessore del bulk (WB, Epi, Thinning)
- Processo dei 3d su linee di produzione a 6 inch
- Dimensioni della segmentazione in pixel (small pitch)
- Spaziatura, profondita' e diametro delle colonne 3D
- Aspect ratio, tempi di processo
- Efficienza di copertura geometrica (Slim/Active Edges)
- Sviluppo di isolamento periferico per Pixel Single Sided p-type

- Valutare il danno da radiazione per Fase-2 negli strati piu' interni, simulazioni, test su fascio

## Tecnica 3D double side FBK



# La collaborazione Pixel R&D

- INFN-FBK convenzione MEMS3
- ATLAS-IT: BO, CS, GE, MI, UD, TN
  - ~9 FTE su pixel R&D
- CMS-IT: BA, FI, MIB, PG, PI, TO
  - ~11 FTE su pixel R&D
- ATLAS
  - compatibilità del layout tra produttori: CNM, SINTEF/SNC
  - test-beam, irraggiamenti e qualifica: ATLAS 3D Sensor WG
- CMS
  - accordi con gruppo FNAL per Test Beam, Telescopio, DAQ
  - eventuali irraggiamenti Los Alamos (esperienza MIB)
  - contributo sul progetto macro-pixel MAPSA

# Piano di lavoro Pixel con FBK (convenzione MEMS3)



- **Batch 1: prove tecniche per colonne** (3 maschere), no sensori
  - Diametro, profondità, tempo di processo
  - Stato: prove in corso, risultati a breve, diam.  $5\mu\text{m}$  nominali già fattibili
- **Batch 2: lotto planari su wafer DWB** (Direct Wafer Bond) 6" (6 maschere)
  - è considerato un lotto di test e verifica della linea di produzione 6" FBK
  - il materiale DWB è innovativo, studio comportamento su sensori e TS
  - contiene sensori ATLAS+CMS e strutture di test (vedi nel seguito)
  - Stato: layout finalizzato in Agosto, maschere pronte, produzione in corso
  - Consegna prevista metà Nov. 2014
- **Batch 3: lotto 3D single side su wafer DWB 6"** (11 maschere)
  - Studi layout in corso, disegno nuovi pixel, adattamenti a ROC esistenti, nuovi pitch per ROC disponibili nell'immediato futuro (2015) FNAL-ROC e PSI\_sens, ipotesi pitch RD53
  - Layout e impegno FBK entro fine 2014
- **Batch 4: lotto planari Active Edge** (al momento di interesse CMS, 10 maschere) su DWB 6"
  - Layout e impegno FBK entro fine 2014

# MEMS3

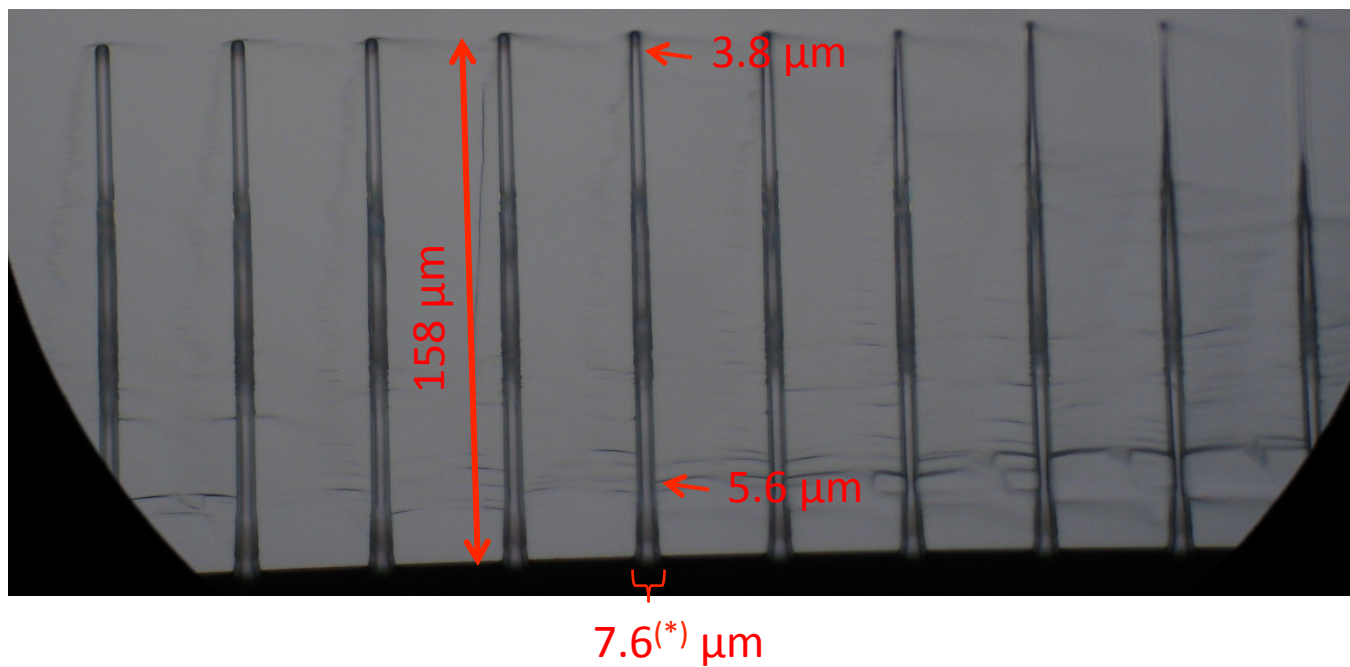
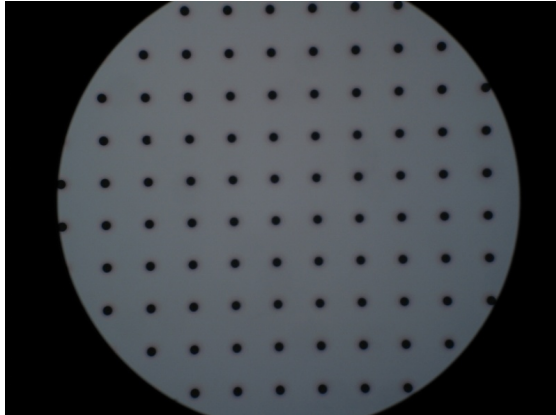
- Piano di R&D da **30 passi litografici** equivalenti (maschere) **approvato** globalmente dalla commissione MEMS3 (mail G. Ambrosi 3/4/14)
- In convenzione MEMS3 “autorizzati” intanto batch 1 e 2
- Non dovrebbero esserci ostacoli per le altre 21 maschere, chiederemo conferma
- **Per il futuro: e' importante che la convenzione venga estesa nel tempo e nel numero di maschere disponibili, altrimenti i costi per ogni passo aumentano di un fattore ~3 (sic!)**
- **CSN1 e Referee possono aiutare molto in questa direzione**



# DRIE for Ohmic Columns

## Deep Reactive Ion Etching

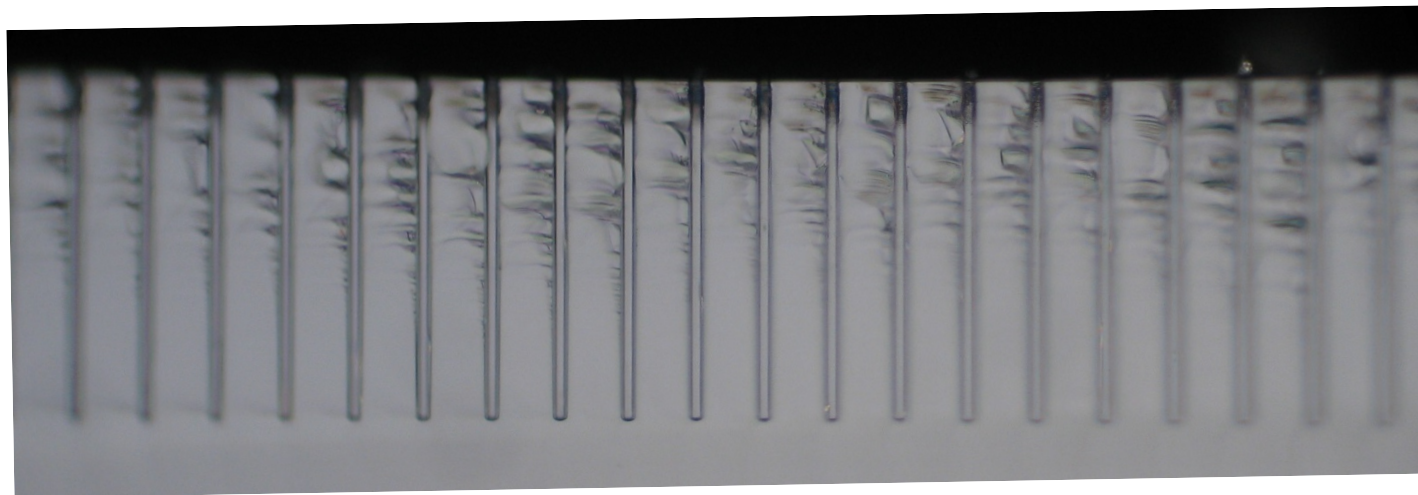
Ref.: M. Boscardin and S. Ronchin, FBK



(\*) – the 2.6  $\mu\text{m}$  larger than nominal (5  $\mu\text{m}$ ) can be corrected by the DRIE recipe

# DRIE for Junction Columns

	ID#	Nominal diameter (um)	Depth (um)	Surface diameter (um)	Diameter at tip (um)
LEFT	5.1	5	99	3.5	3.2
	5.5	5	99.5	5.5	2.9
CENTER	5.5	5	100	5.5	3.5
	5.6	5	98	4.3	2.6
	5.8	5	98	5.5	2.6
	5.9	5	98	3.9	2.9
RIGHT	5.10	5	95	3.3	2.7
	5.11	5	95	3.3	2.7



# Layout del Batch Planare in Produzione alla FBK

Processo con P\_Spray + P\_Stop in alcune zone secondo richieste

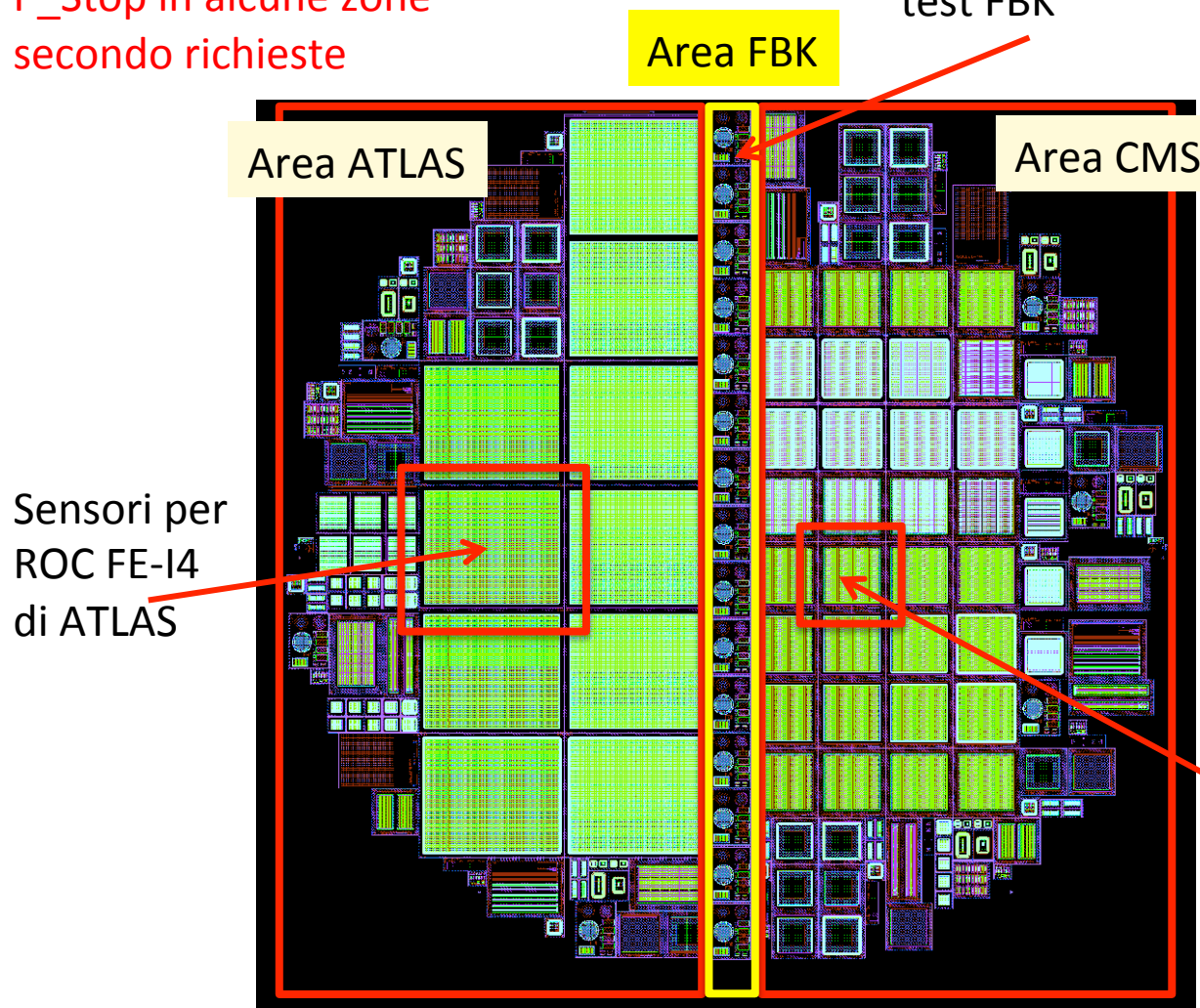
Strutture di test FBK

Nella periferia del wafer TS (strutture di test) CMS, FBK, ATLAS, in comune  
Diodi, capacita', ossidi, pspray...

TS fondamentali per qualificare il processo e fare confronti con altre produzioni di sensori

TS da misurare nelle probe station in clean room

Sensori per ROC PSI\_dig di CMS



Disegno del Layout in FBK: G. Giacomini, M. Boscardin, N. Zorzi

# Wafer 6" per lotti FBK

- Acquistati **55 wafer Float Zone DWB** dalla Icemos Tec. (UK):
  - Handle wafer CZ a bassissima resistività 500 $\mu$ m di spessore
  - Sensor wafer FZ resistività > 3kOhm cm
  - 2 spessori: 100 $\mu$ m (25 wafer) e 130  $\mu$ m (30 wafer)
- **Wafer Epitassiali:**
  - estremamente difficile trovare produttori su 6"
  - per ora un solo fornitore: Shinetsu (Japan) con il quale non si puo' trattare direttamente e che vende attraverso un "intermediario" per le esportazioni
  - resistività >700 Ohm cm, spessore strato Epitassiale con ampi margini di variazione, da verificare nei test
  - ordine in attesa di una offerta conclusiva

# Piano di Produzione Planari Batch n.2 FBK

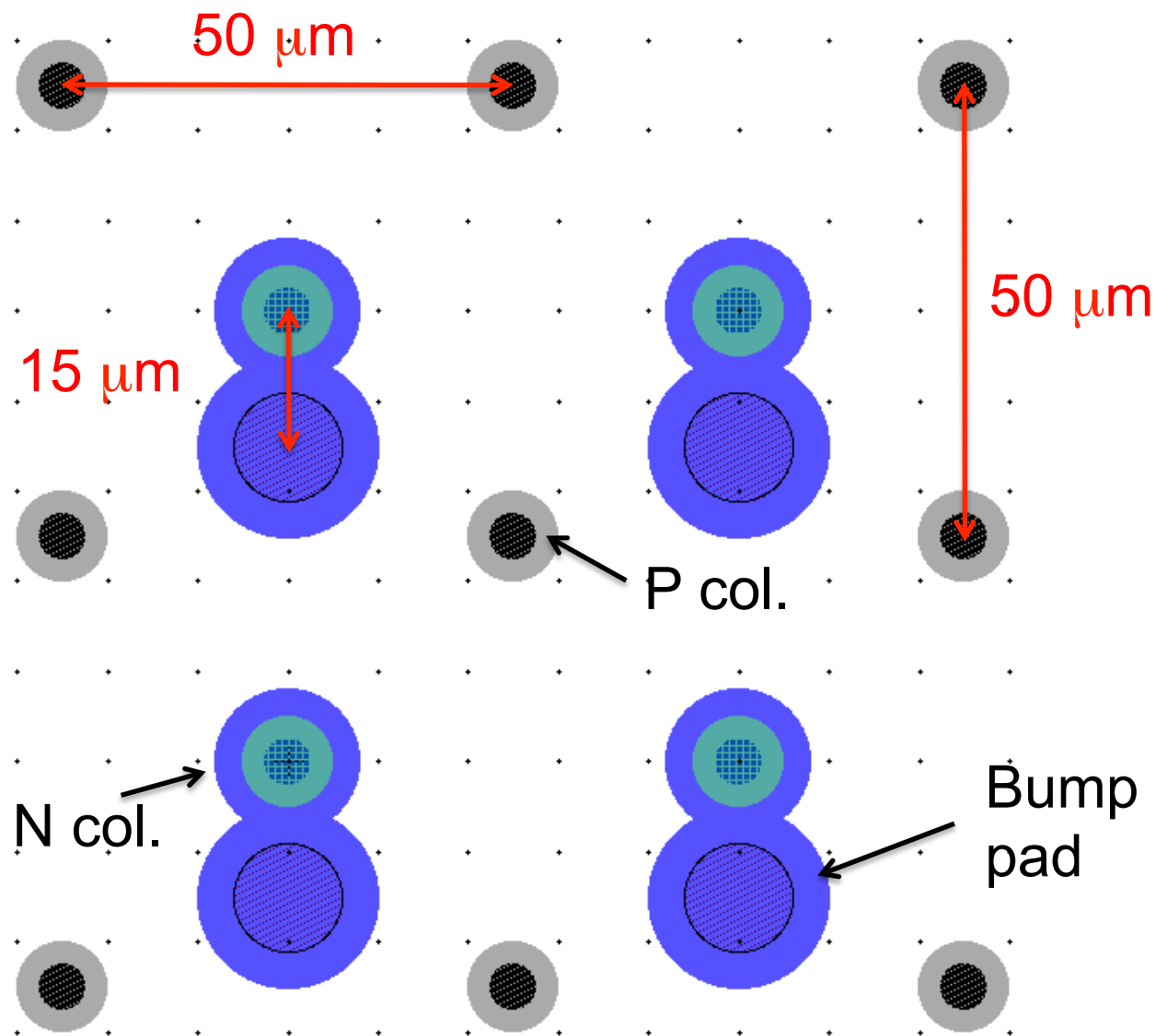
- Utilizzo di wafer DWB da 100/130  $\mu\text{m}$  e wafer Float Zone
- Il Float Zone viene utilizzato come riferimento, in quanto il DWB e' una soluzione "innovativa"
  - $\rightarrow$  verifica delle prestazioni rispetto a pixel planari su materiale standard
- Tre dosi di isolamento P\_Spray (alta, media, bassa) su wafer diversi
- La dose P\_Spray media verra' usata su tutti i tipi di wafer per avere un confronto diretto
- Possibili confronti su sensori con e senza P\_stop

# Lavori in corso per il batch Pixel 3D

- Layout pixel in funzione dei ROC disponibili già ora o a breve termine
  - FE-I4 ATLAS e PSI\_dig CMS disponibili, ordinati alcuni ROC wafer
    - CMS anche 2 wafer FE-I4
  - nel 2015 ROC FNAL pitch  $30 \times 100 \mu\text{m}^2$
  - ROC PSI prototipo  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$  (2015?)
  - Primo mini-prototipo RD53?
- Inserire comunque alcuni sensori pixel con pitch adatto per Fase-2 e leggerli con FE-I4 o PSI\_dig
  - metal mask per leggere solo alcuni pixel



## 3D cell layout 1: 50 x 50



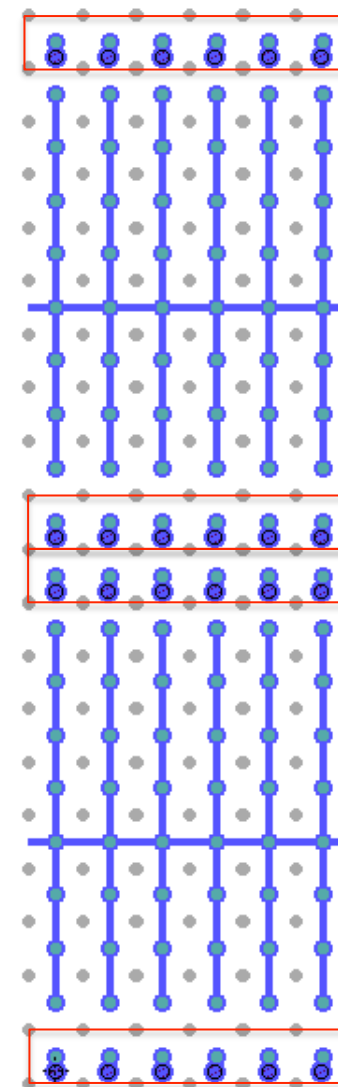
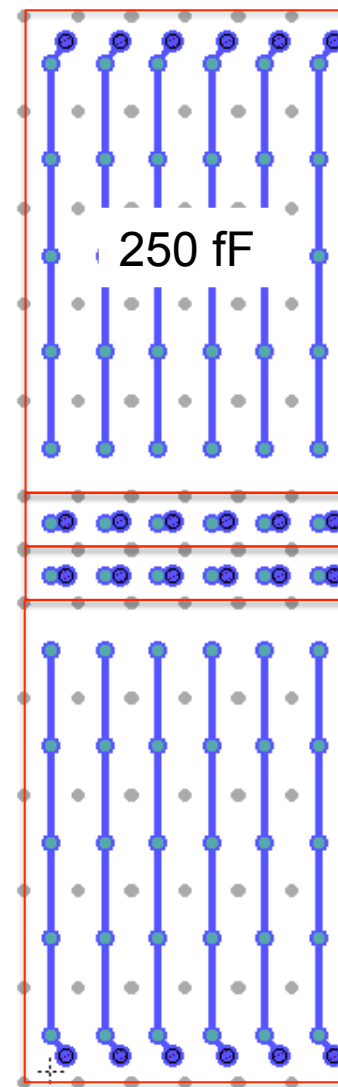
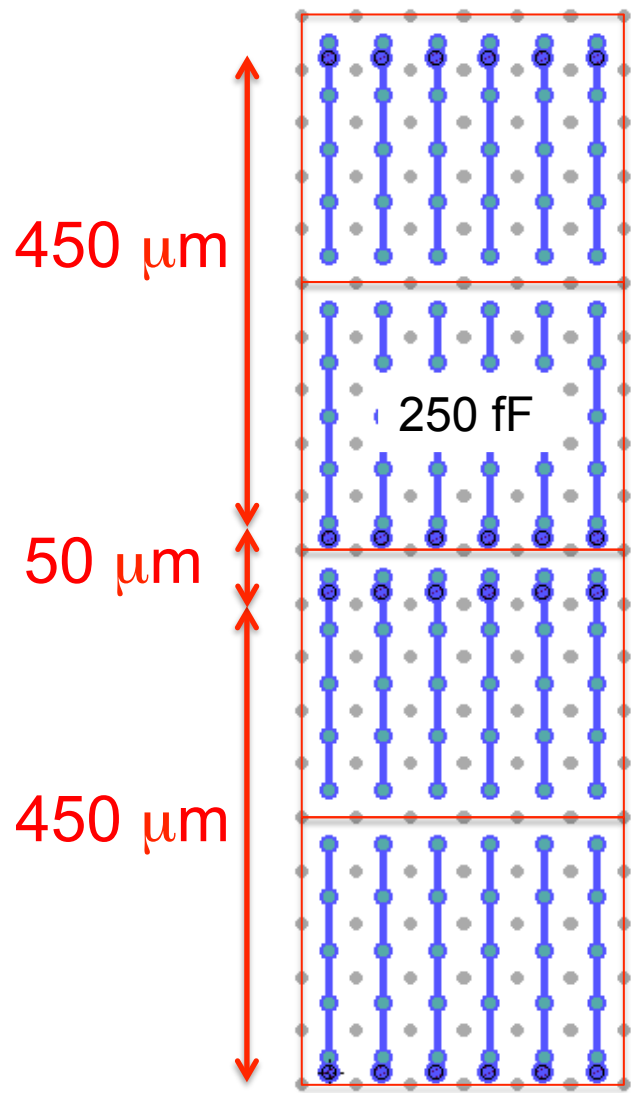


## FEI4 compatible test pixels 50 x 50

4x250

2x50 + 2x450L

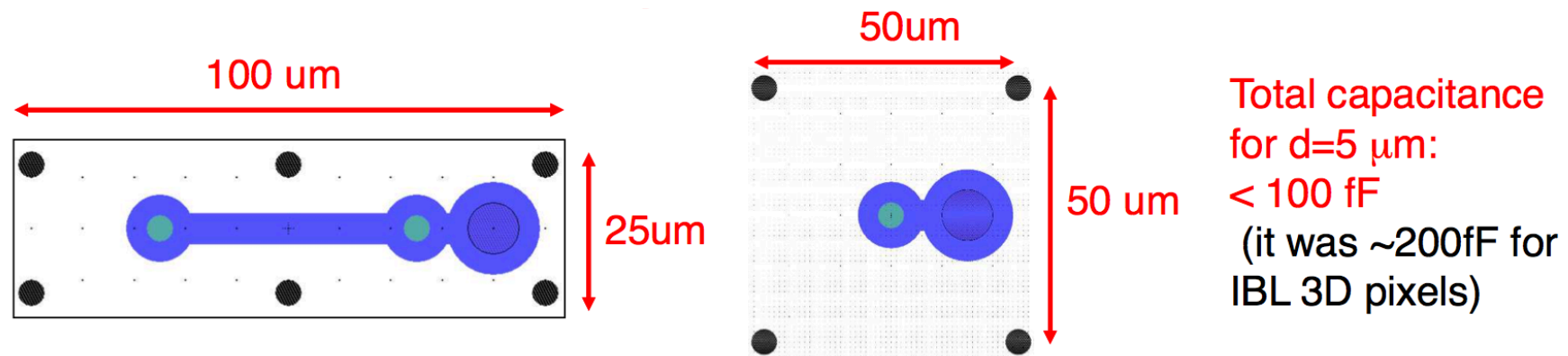
4x50 + grid





# Simulazioni Capacità Pixel (TN)

- La capacità totale del pixel deve essere mantenuta bassa per ridurre il rumore
  - in particolare su rivelatori irraggiati e/o con zona di raccolta ridotta



G.-F. Dalla Betta (TN)

- Le simulazioni danno  $\sim 100 \text{ fF}$  per il pixel  $25 \times 100 \mu\text{m}^2$  e  $\sim 50 \text{ fF}$  per il pixel  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$  (spessore di  $150 \mu\text{m}$ ) tenendo in conto anche il contributo del metal layout e delle colonne N verso il P\_Spray.
- **Carica prevista 3200 – 3700  $e^-$**  in  $100 \mu\text{m}$  di spessore dopo  $2 \times 10^{16} n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$  (risultato da simulazioni + estrapolazioni)

## Assemblaggio di pixel in moduli: Flip Chip Bump Bonding

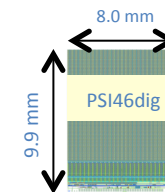
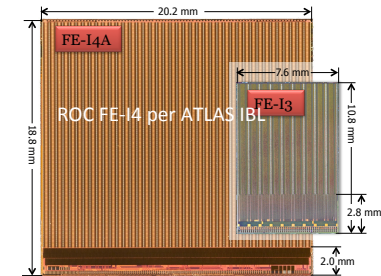
- Il programma di R&D pluriennale prevede:

- Assemblaggio di Pixel sensors

- sensori sottili (fino a  $\sim 100$  micron)
- alta densità di bumps: per pixel con pitch piccolo ( $\sim 4 \times 10^4$  bumps/cm<sup>2</sup>)

- ROC Chip:

- Area fino a 2x2cm<sup>2</sup> come Fe-I4 (anche fino a  $\sim 6$  cm<sup>2</sup> se OK in 65 nm)
- Assottigliati: fino a 100 $\mu$ m di spessore con chip di grandi dimensioni (FE-I4) e fino a 75 $\mu$ m con ad esempio PSI46-dig (1x1cm<sup>2</sup>).



- Numerosi punti critici da affrontare per il Bump bonding di

- dispositivi sottili (ROC wafer e Pixel wafer), incurvamento (Bowling)
- dimensione minima dei bumps (minimum pitch)
- materiale dei bump. Thermal budget e stress termici del processo di Flip Chip Bump Bonding, es. Indio a bassa T (90°) o Sn/Ag ad alta T(240°).

- Complicazioni ulteriori possono essere venire dalla ibridizzazione di pixel 3D: consideriamo pertanto propedeutico e complementare verificare l'applicazione di tecnologie di punta su pixel planari

- Valutazione del danno da radiazione: possibile ibridizzazione di Sensori irraggiati con ROC non irraggiati

# Bump Bonding, Assemblaggi Moduli, Test

- 2014:
  - Inizio BB sensori dal batch planare con diversi partner industriali
  - Primi assemblaggi
  - Passi iniziali per sviluppo BB Indio su 6" a Selex (ATLAS)
- 2015:
  - BB sensori dal batch 3D con diversi partner industriali (IZM? Selex?)
  - Thinning sensori e ROC
  - Assemblaggio planari e inizio assemblaggi 3D
- Altre attività comuni:
  - Qualifica dei batch FBK
  - Wafer test
  - Misure su Test Structures e sensori
  - Tecniche di protezione scariche sensore-ROC (BenzoCycloButene-BCB, Parylene)
  - Irraggiamenti
  - Test Beam

# Fondi Esterni

- Partecipazione call H2020 con la proposta AIDA-2020, sottomessa il 2/9/2014
- Presenti diversi WP collegati con R&D Pixel
  - **WP7: Advanced hybrid pixel detectors**
    - Detector validation for tracking devices
  - **WP 6: Novel high voltage and resistive CMOS sensors**
  - **WP 4: Micro-electronics and interconnections**
  - **WP 9: New support structures and micro-channel cooling**

# Finanziamenti INFN R&D

- CSN1 Maggio 2014 (Elba) assegnati

		<b>Proposte</b>					
		<b>2014-2017</b>			<b>2014</b>		
		<b>ATL</b>	<b>CMS</b>	<b>Com</b>	<b>ATL</b>	<b>CMS</b>	<b>Com</b>
<b>tracker</b>	<b>3D</b>			108			<b>65</b>
	<b>AE</b>		80			<b>32</b>	
	<b>HV</b>				13		
	<b>BB</b>	37	137	142	27	<b>27</b>	
	<b>MOD</b>	31	52	128			
	<b>Mod R0</b>	25					
	<b>cooling</b>	40	40		20	<b>10</b>	
	<b>Totali</b>	133	309	378	60	69	65
		<b>820</b>			<b>194</b>		

# Richieste 2015

## Richieste su item comuni ATLAS e CMS

	ATLAS	CMS	TOTALE
Wafer	10	10	20
BB 3D	24	24	48
High Density BB	20	10	30
			98

## Milestones

Descrizione	Data completamento
SENSORI PIXEL: verifica batch FBK n. 2 pixel planari su wafer DWB 6". Se positiva seguono test di moduli single ROC con pixel planari	31-07-2015
SENSORI PIXEL: qualifica della prima produzione di pixel 3D single side FBK	30-11-2015
MICROCOOLING-CMS: verifica uso CO2 evaporativo con micro-channel	31-10-2015