

Sviluppo di sensori a pixel 3D per High-Luminosity LHC

Matteo Polo^{1,2}, Jixing Ye^{1,2}, Gian-Franco Dalla Betta^{1,2}

¹TIFPA INFN, Trento, Italy

²Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Trento, Trento, Italy

Introduzione

- Nei sensori a pixel 3D, introdotti da Sherwood Parker [1], gli elettrodi sono realizzati verticalmente attraverso il substrato utilizzando tecniche tipiche dei MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). Lo spessore del substrato (Δ) può essere disaccoppiato dalla distanza tra gli elettrodi (L), e da layout si può ottenere $L \ll \Delta$ (Figura 1)
- Le cariche generate dalle particelle cariche sono raccolte con maggiore efficienza e più rapidamente rispetto ai sensori planari (Figura 2)
- Questo garantisce una elevata tolleranza dal danno da radiazione e rende i pixel 3D adatti agli strati più interni dei tracciatori di particelle.
- Tra il 2005 ed il 2012, nei progetti INFN CSN5 TREDI e TRIDEAS, sono stati realizzati pixel 3D con un approccio originale doppia-faccia, che sono stati infine impiegati nell'Insertable B-Layer (IBL) del progetto ATLAS, con un importante contributo del gruppo INFN di Trento e di FBK, che ha realizzato metà della produzione richiesta

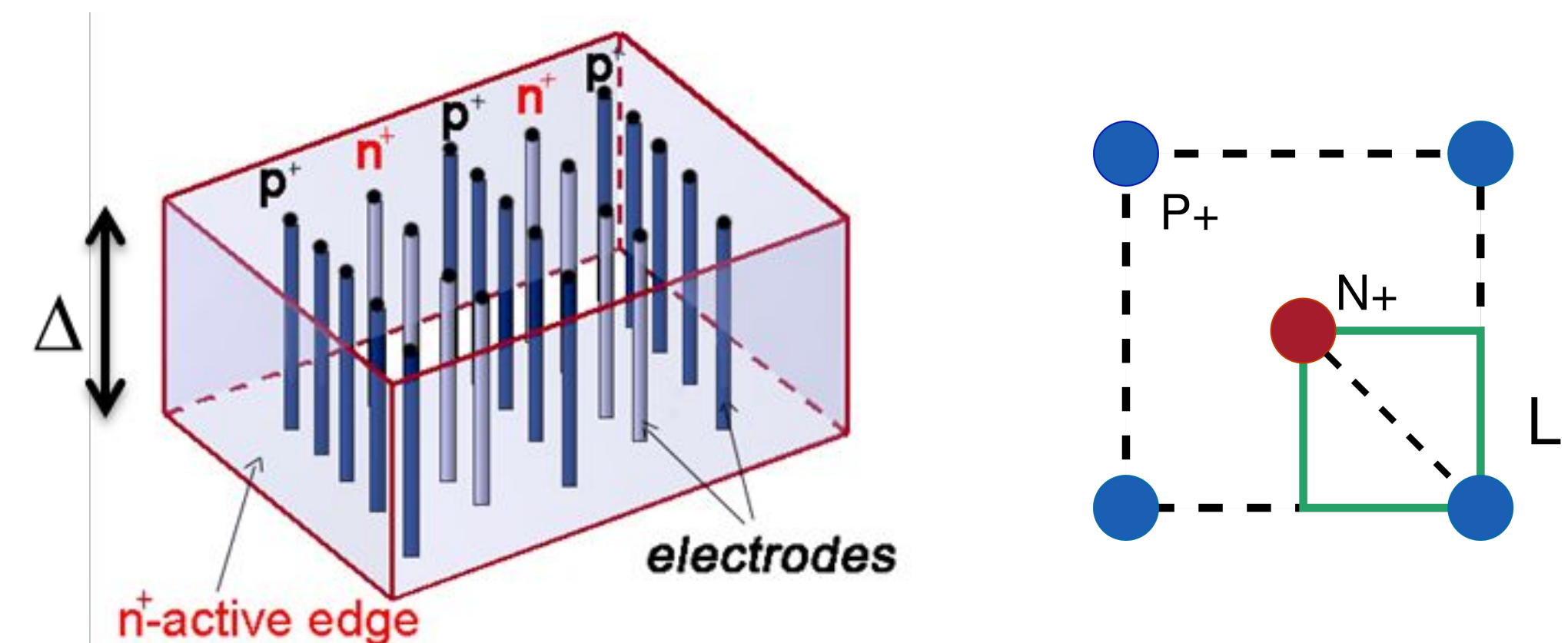


Figura 1

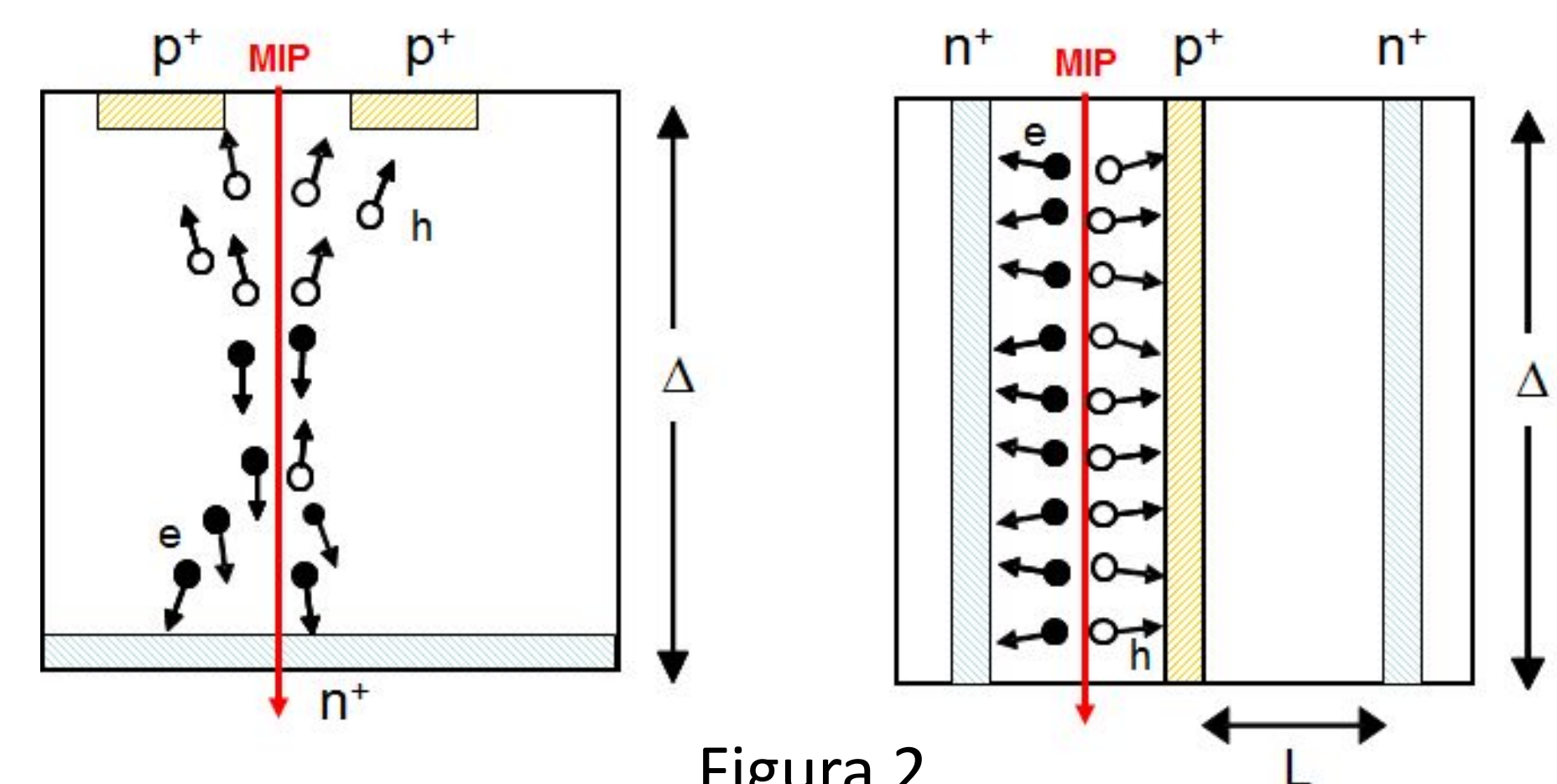


Figura 2

Da LHC a HL-LHC

- Con il passaggio all'HL-LHC ci si aspetta un aumento della luminosità e della fluensa di quasi un fattore 10, con problemi di *occupancy* (Figura 3) e di tolleranza alle radiazioni
- Questo comporta la modifica delle geometrie, in particolare:
 - Pixel più piccoli (50×50 o $25 \times 100 \mu\text{m}^2$) con spaziatura inter-elettrodi ridotta ($\sim 30\text{-}50 \mu\text{m}$) (Figura 4)
 - Elettrodi più stretti ($\sim 5 \mu\text{m}$) e regione attiva più sottile ($\sim 150 \mu\text{m}$)
- Il processo doppia-faccia non è utilizzabile per sensori sottili. Nell'ambito degli sviluppi congiunti INFN (ATLAS e CMS) - FBK per Fase 2, si è passati ad un processo singola-faccia con substrato di supporto [2], mantenendo però la polarizzazione dal retro (Figura 5).

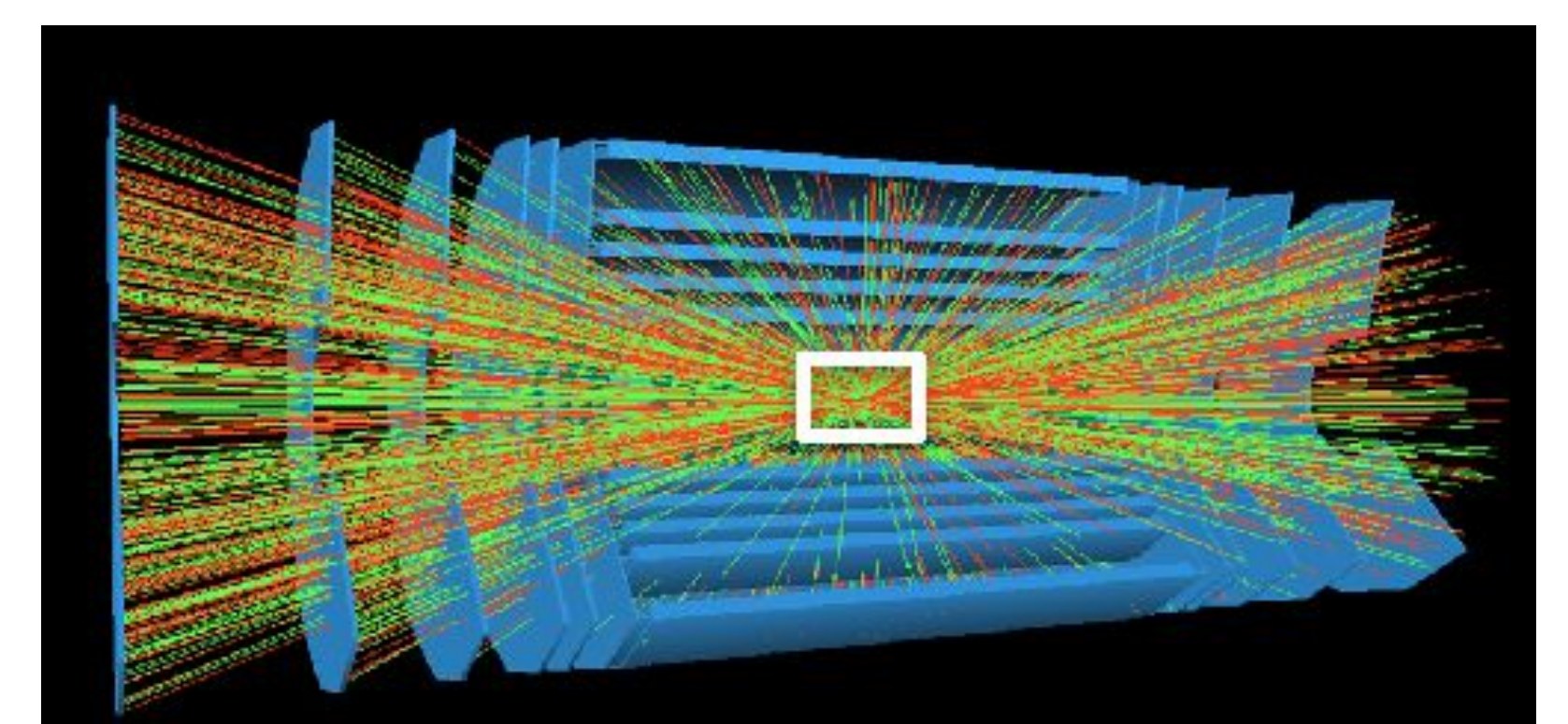


Figura 3

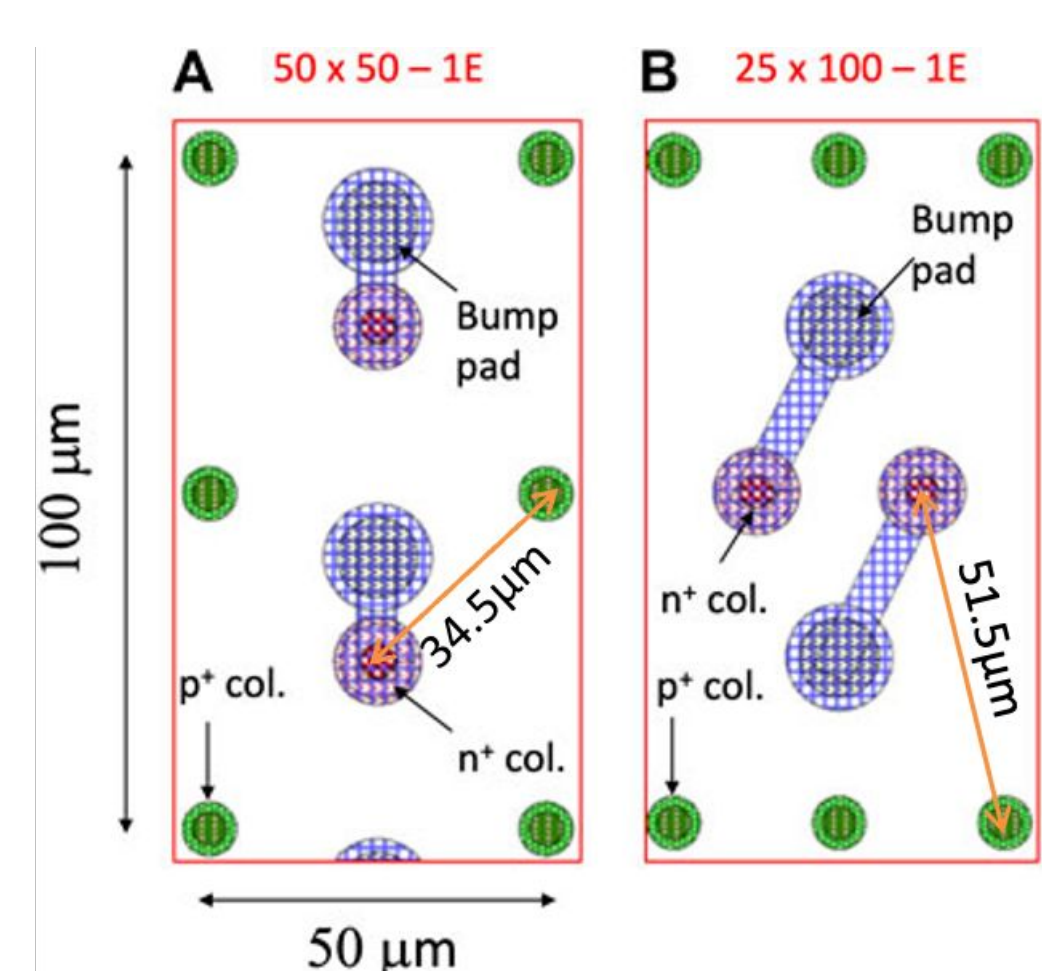


Figura 4

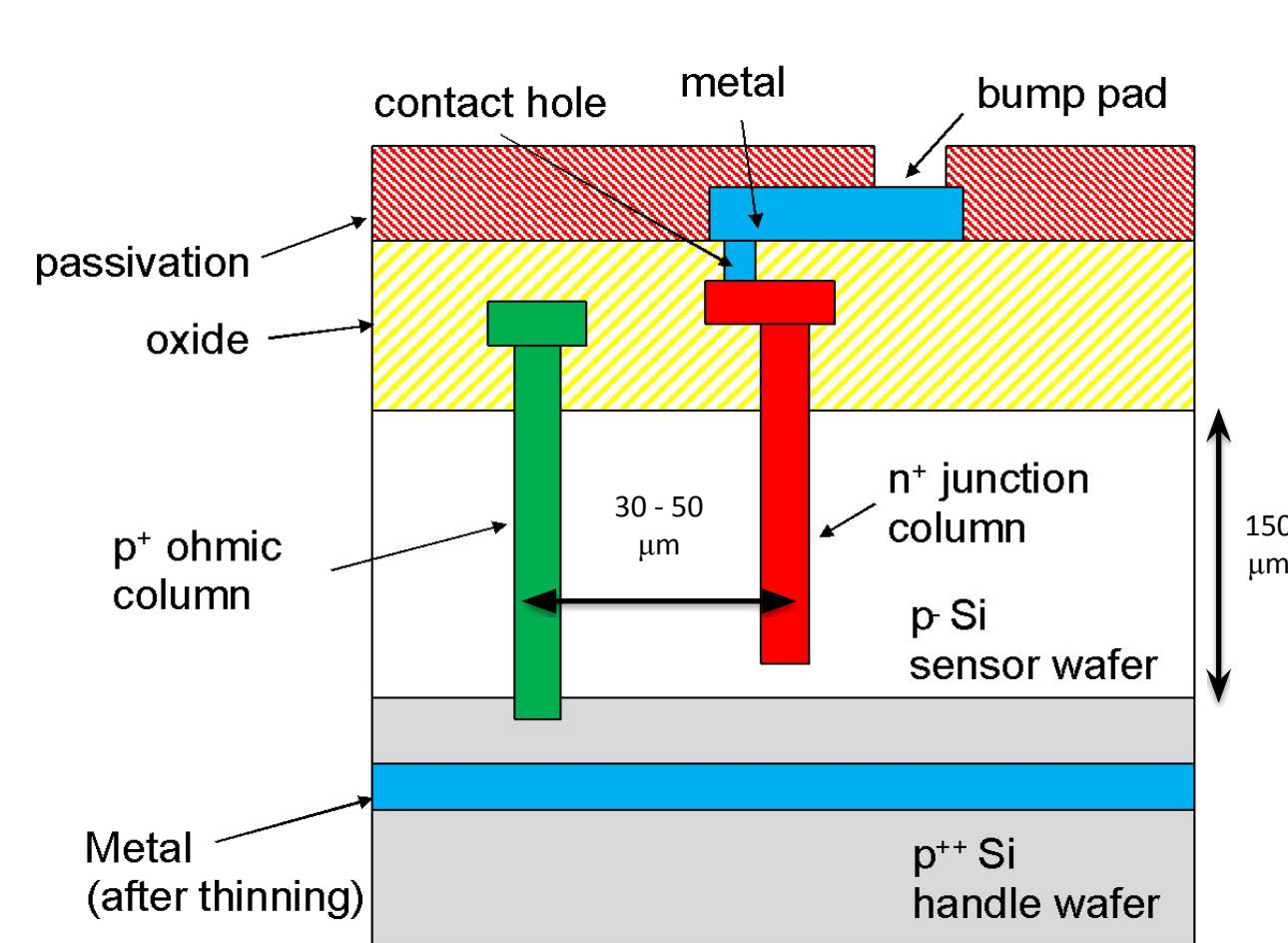


Figura 5

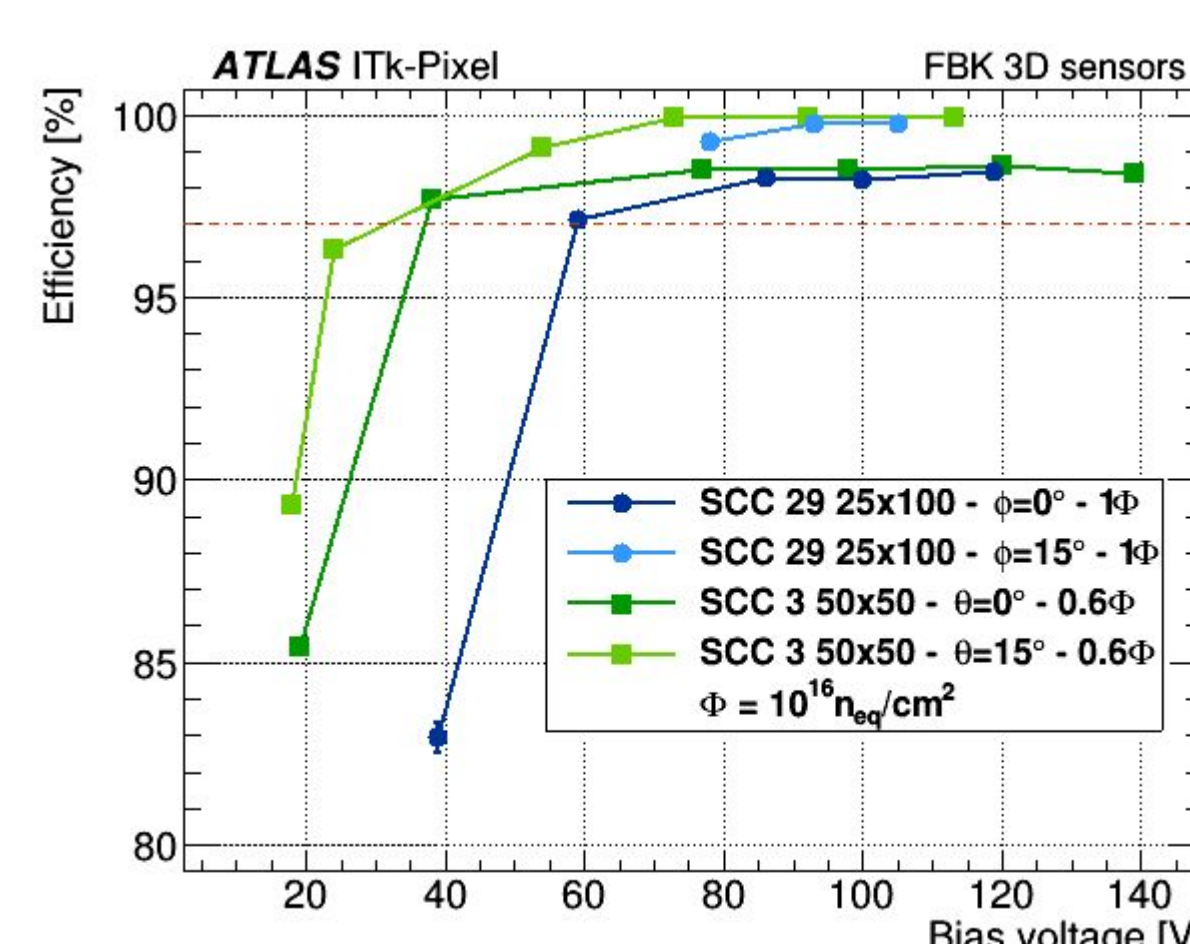


Figura 6

Questi sensori hanno dimostrato di poter fornire elevata efficienza anche dopo irraggiamento fino ad una fluensa di $1 \times 10^{16} \text{ n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ (Figura 6) e oltre [3]. La produzione dei pixel 3D per ATLAS (50×50 e $25 \times 100 \mu\text{m}^2$) e la pre-produzione dei pixel 3D per CMS ($25 \times 100 \mu\text{m}^2$) sono in corso a FBK

Pixel 3D per timing

- I sensori 3D sono anche molto veloci!
- Con le architetture a colonna, però, risoluzione temporale è limitata a causa della disuniformità del campo elettrico (Figura 7) e del *weighting field*
- A questo si può ovviare utilizzando elettrodi a trincea (Figure 7 e 8), sviluppate nel progetto INFN TIMESPOT, coi quali si può raggiungere una risoluzione temporale di 10ps (Figura 9) [4].

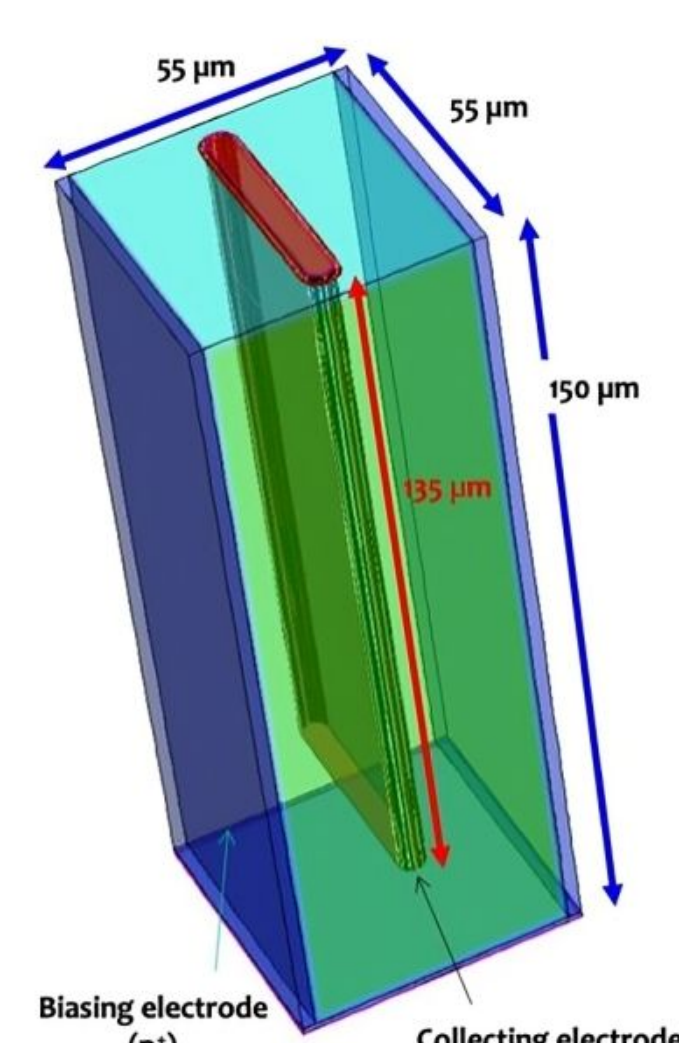


Figura 8

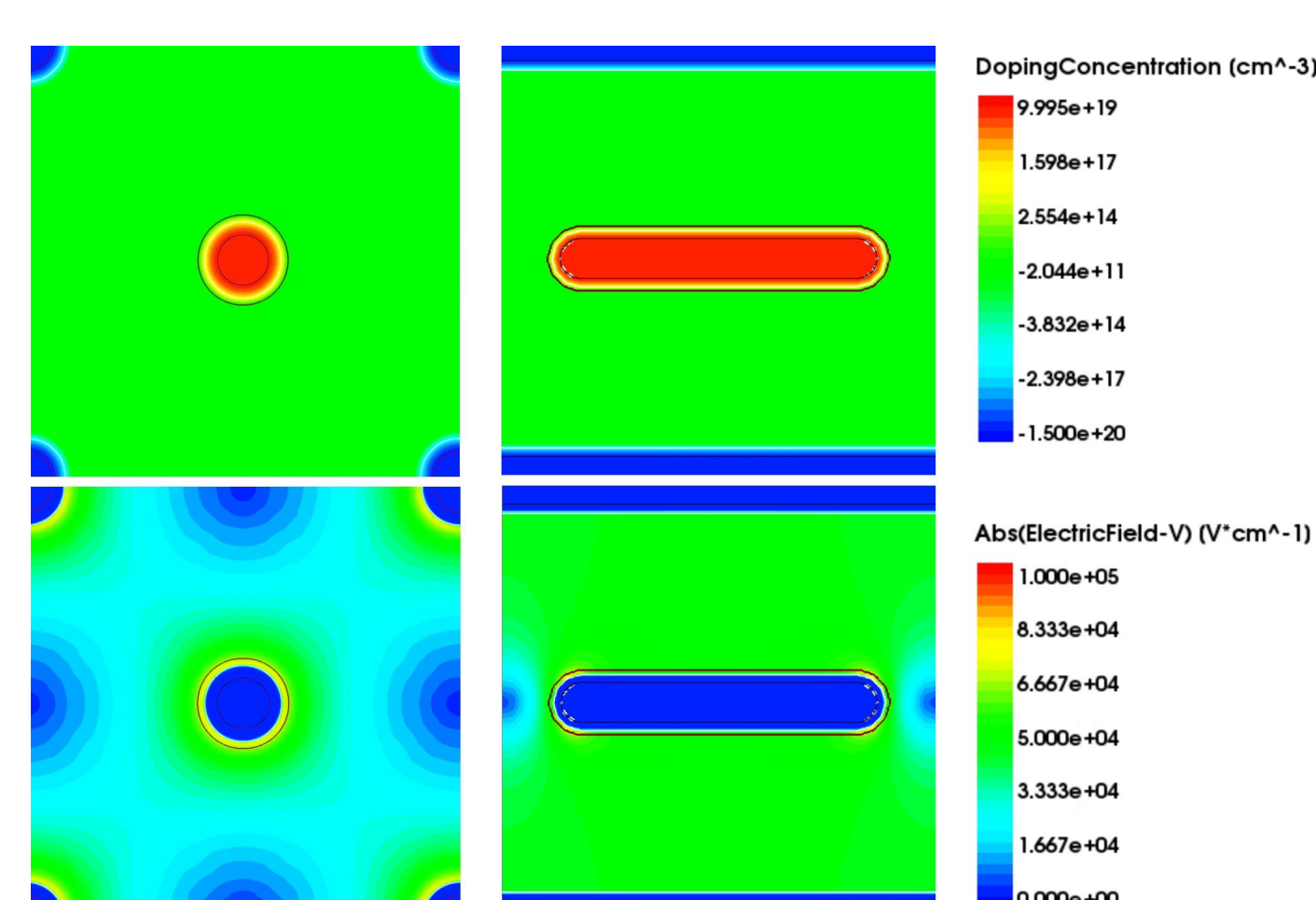


Figura 7

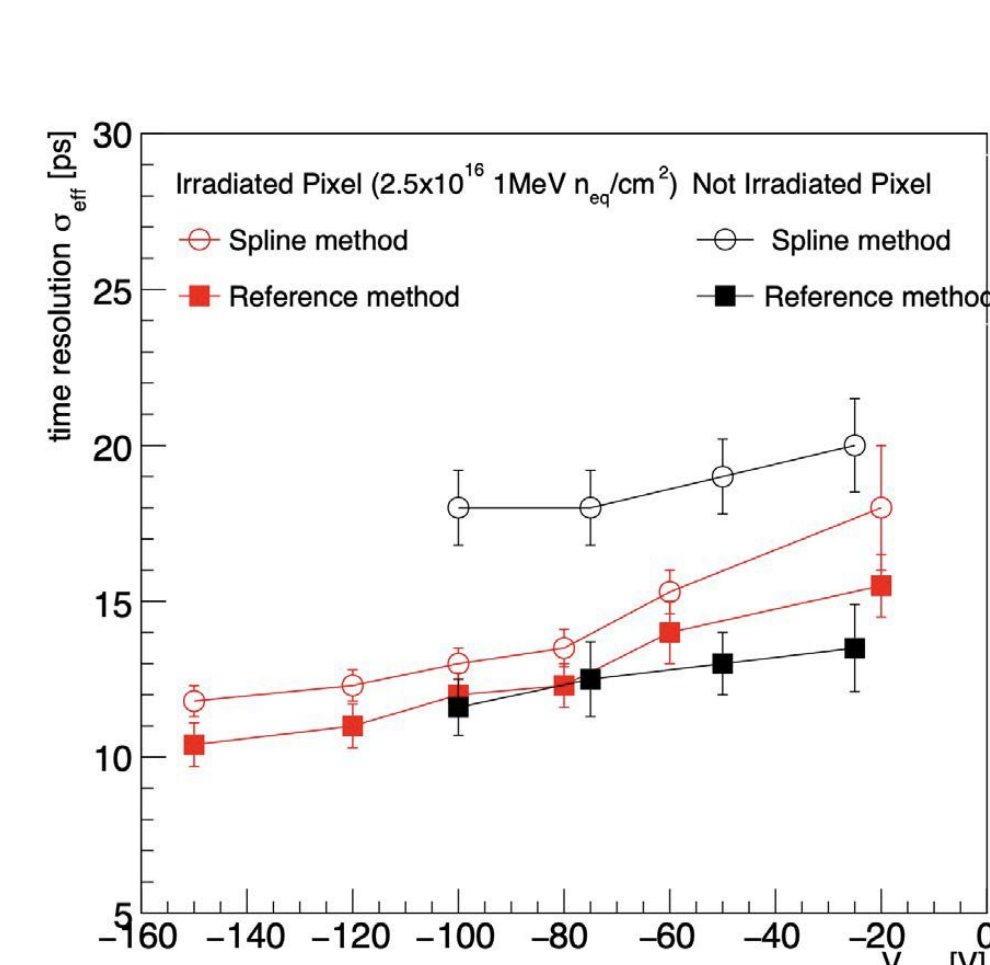


Figura 9

Sensori 3D per neutroni termici

- Combinando le strutture in 3D con materiali sensibili ai neutroni (ad esempio ^{10}B o ^6Li) (Figura 10) è possibile rivelare neutroni termici con efficienza teorica (Figura 11) fino al 30% [5].

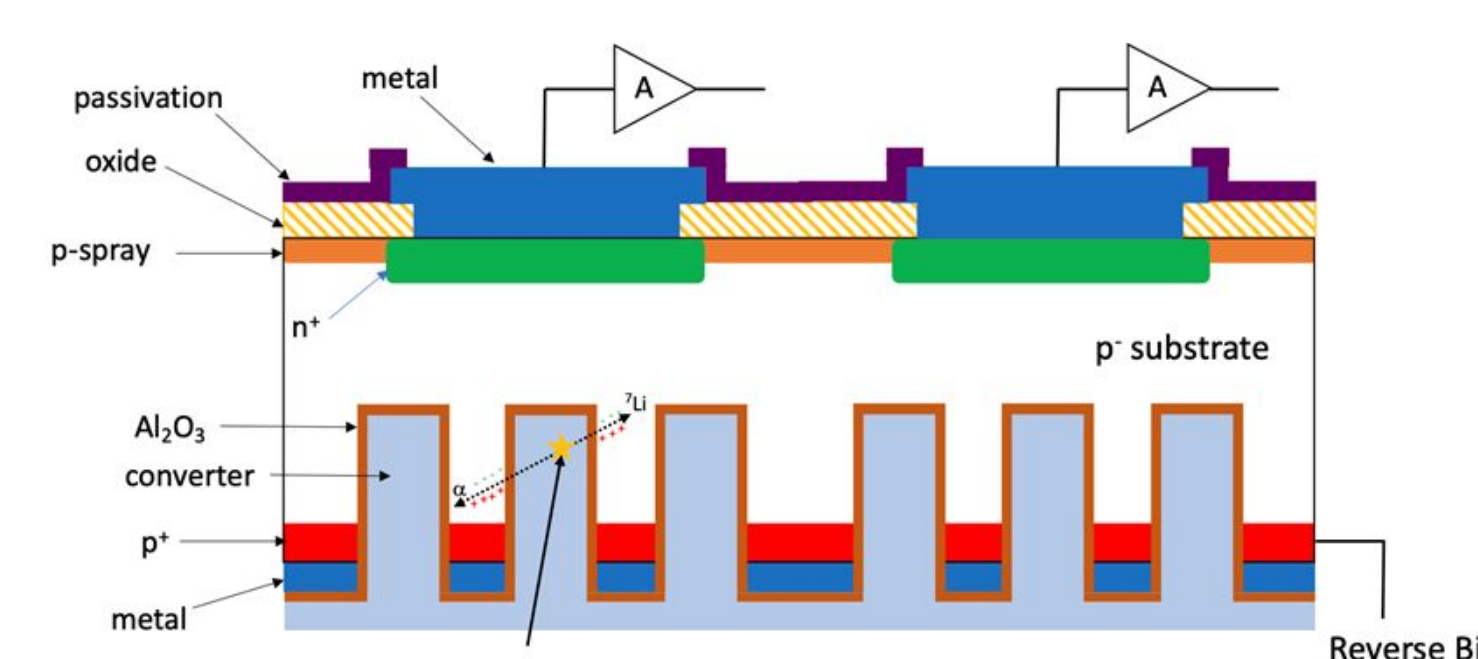


Figura 10

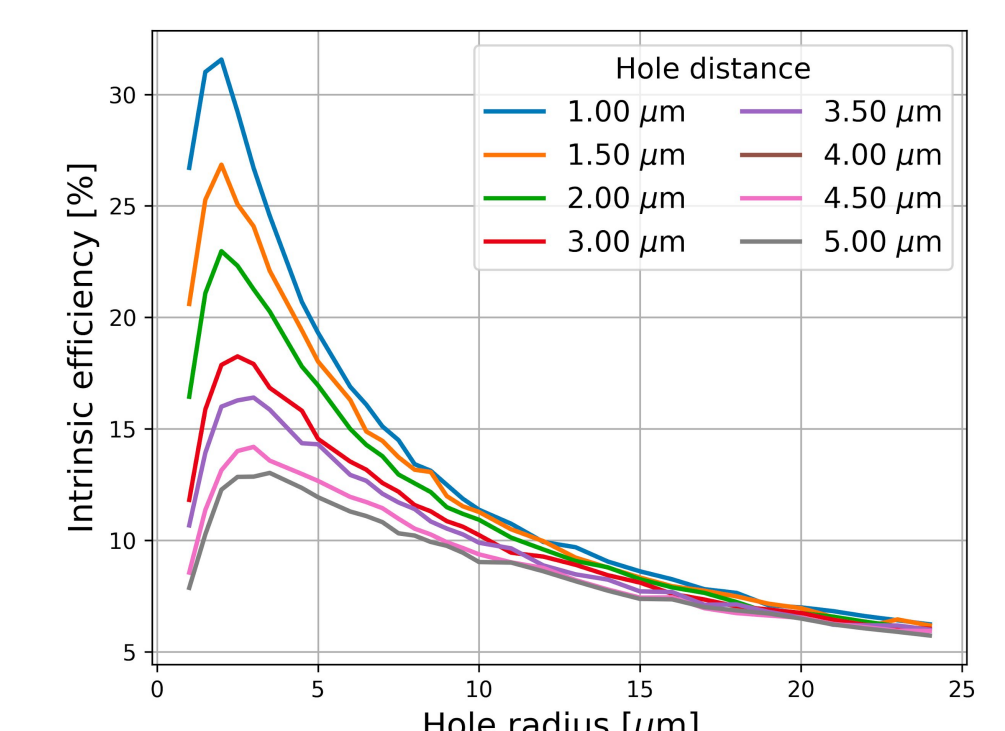


Figura 11

Bibliografia

- S. Parker et. al. NIMA 395 (1997) 328
- G.-F. Dalla Betta et al., NIMA 824 (2016) 386 and 388
- G. Calderini et al., JINST 18 (2023) C01010
- A. Lampis et al., JINST 18 (2023) C01051
- M. Polo et al., ANIMMA 2023