

Pisa, 20-25 marzo 2006
Batignani, Bettarini, Giacomini (TS), Marchiori

Strumentazione:

HP4145B, semiconductor parameter analyzer (4 SMU)

Agilent HP33220A, generatore di forme d'onda arbitrarie

oscilloscopio LeCroy WaveRunner 6050 (4 canali)

Laser classe 3A, 1060 nm (vicino infrarosso) assemblato presso il CERN

Cavetti LEMO da 10 ns per portare i segnali dalla scatola metallica in cui e' alloggiato il chip all'oscilloscopio

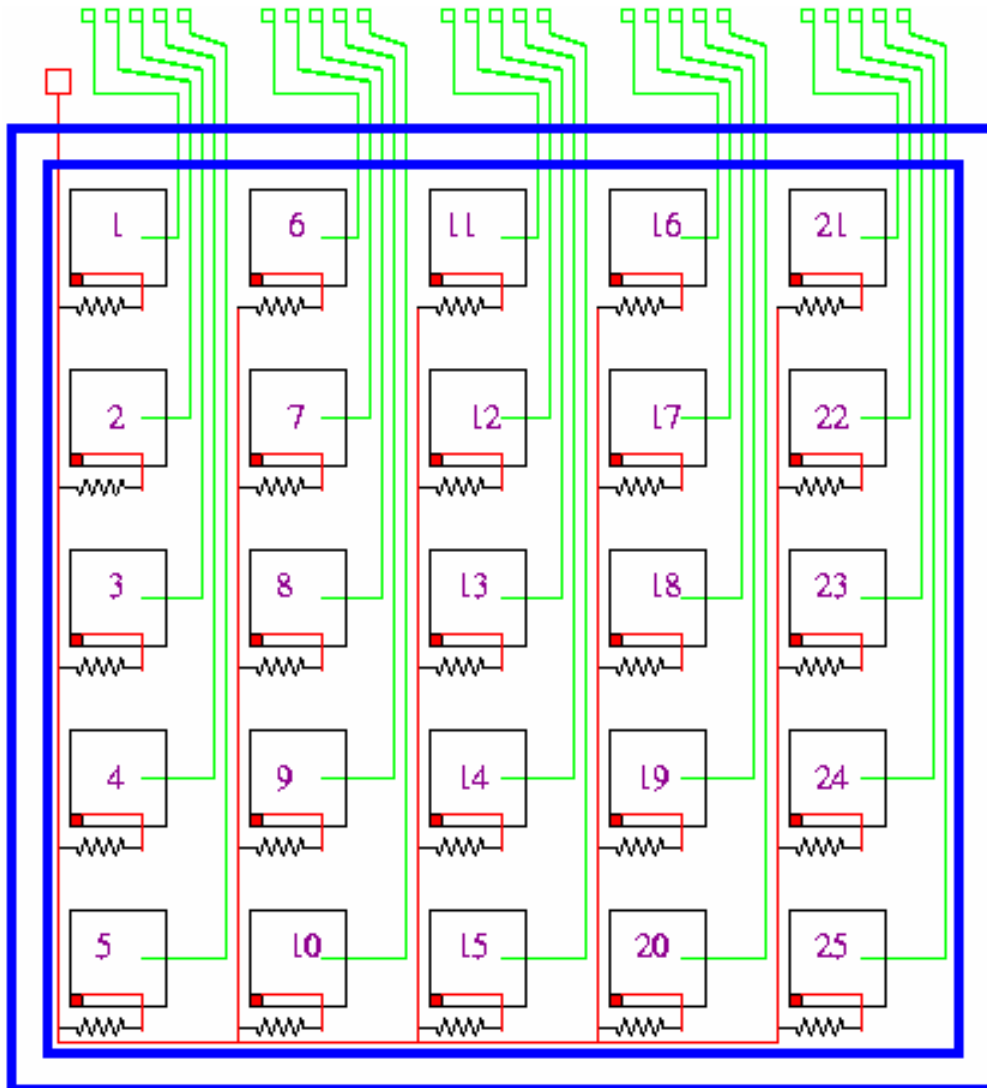


Figura 1: layout schematizzato (non in scala) della matrice 5 per 5 di BJT utilizzata. I pixel sono quadrati di lato 1.4 mm mentre il pitch e' di 1.6 mm.

La linea rossa porta l'alimentazione (di seguito denominata VBB) a ciascuna base attraverso una resistenza di polarizzazione di ~ 70-80M, in blu i due guard ring, in verde le piste che partono dall'emettitore (spostato sulla sinistra del pixel) e giungono alle piastrine verdi da cui partono i bonding verso la resistenza di carico (R LOAD). Notare che i BJT sono connessi in parallelo. La numerazione dei pixel e' quella adottata nel seguito.

Sono stati utilizzati alcuni BJT di una matrice 5 per 5 (figura 1)

I BJT hanno un'area attiva (base) quadrata di lato 1.4 mm e hanno un pitch di 1.6 mm; ogni emettitore, che e' di area minima, attraverso una pista metallizzata e' collegato ad un proprio contatto sul bordo superiore del chip. Da qui partono dei bonding fino ad un socket per un capo della resistenza di carico R LOAD, che viene fissata, per mezzo di un'altro socket accoppiato al primo, ad una linea di alimentazione comune a tutti e 25 i canali, che reca la tensione VEE.

Ciascuna base e' polarizzata attraverso una resistenza di PoliSi di circa 70-80M (misurate in precedenza). Tutte le resistenze partono da una linea di polarizzazione comune VBB. Il dispositivo e' polarizzato infine da una tensione positiva applicata sul retro della fetta (collettore comune a tutti i BJT del wafer) per lo svuotamento del substrato di 600 µm. L'intera matrice e' circondata da un primo guard-ring, tenuto a massa, e da un secondo guard ring che pero' e' lasciato flottante.

Misure I-V (Gummel Plot) e C-V sono state effettuate in precedenza; qui si sono ripetute alcune misure di questo tipo per verificare il funzionamento del dispositivo.

Polarizzando il solo BJT d'angolo in basso a sinistra (classificato come #5, come in figura 1), si sono fatte le misure I-V preliminari:

- 1) VGR=VBB= 0, emettitore flottante, V BACK da 0 a 100 V. Si misura per tensioni superiori a 40 V che ogni pixel ha una corrente di leakage base-collettore di circa 4.5 nA.
- 2) VGR=VBB= 0, Rload =100K (BJT polarizzato); V BACK=70V; VEE da 0 a -10 V. Le correnti di base e di emettitore hanno un andamento lineare da VEE=-1 a VEE= -10 V, per cui il rapporto $IE(-1 V) - IE(-10 V) / IB(-1 V) - IB(-10 V) = 500$ da' il beta, guadagno differenziale in corrente.

Per le misure successive si sceglie un punto di lavoro dato da:

- 1) VEE = -2V
- 2) V BACK = 80V
- 3) VGR = 0
- 4) VBB = 0

Da cui si misura una corrente di emettitore di circa 7.5 µA che porta l'emettitore ad una tensione di lavoro quiescente di -1.25V, una corrente di base di 13.1 nA (la corrente di leakage e' di 4.5 nA (negativa) mentre dalla curva di polarizzazione fatte si ha, per VEE=-2V, 17.6 nA (positiva), per cui una corrente di base data da $17.6 - 4.5 = 13.1$ nA (positiva)) da cui una tensione sulla base di -0.92 V (con una resistenza di PoliSi di 70M). La tensione VBE quindi di ~0.33 V. (e' il caso di dire esattamente la I EMI e la I BASE e la C BE e la CBC dal gummel plot e dalle curve CV?)

Le quattro tensioni continue di alimentazione sono fornite dall'HP 4145B, i segnali, che sono essenzialmente la variazione di tensione ai capi della R LOAD, sono portati ad un oscilloscopio LeCroy WaveRunner 6050 via i cavi coassiali LEMO, che partono dall'esterno della scatola di alluminio pressofuso contenente la matrice e, attraversando la dark box, raggiungono l'oscilloscopio.(una foto della scatola per far vedere il set-up?)

Su questo unico pixel polarizzato (gli altri bjt hanno l'emettitore flottante ma la corrente di leakage base-collettore che fluisce attraverso la resistenza di PoliSi, la quale e' collegata alla tensione VBB, porta la base ad una tensione di a +0.32 V e le lacune generate nel substrato vanno piu' convenientemente verso il BJT polarizzato la cui base si trova a -0.92 V) si sono fatte delle prime misure di segnali generati dal fascio laser, comandato da impulsi generati dall' Agilent HP33220A. Per tale lunghezza d'onda di

1060 nm, il coefficiente di assorbimento nel silicio ϵ' di $\sim 10^{-2} \mu\text{m}^{-1}$, per cui le coppie elettrone-lacuna vengono generate ben in profondita' nel substrato (che ricordiamo essere di $600 \mu\text{m}$). In figura 2 si mostra una media di queste acquisizioni.

La frequenza con cui l'Agilent generava gli impulsi e' stata posta a 37 Hz, in maniera da essere sufficientemente piccola da permettere ai segnali di svilupparsi indipendentemente e in maniera da svincolarsi da effetti di frequenza di rete.

Si e' notato in alcuni casi infatti che, anche all'interno della dark box di schermatura, il segnale era sovrapposto ad una sinusoidale di frequenza 50 Hz, sinusoidale che spariva spegnendo le luci neon del laboratorio.

Il tempo di decadimento e' di 84 us mentre il picco e' a 15 us.

Da un'analisi teorica si avrebbe, per il tempo di decadimento:

$$\tau = \frac{r_B C_B + \beta C_{BC} R_{LOAD}}{1 + \frac{r_B + \beta R_{LOAD}}{R_0}}$$

Dove R_0 e' la resistenza di polarizzazione di 80M posta tra base e V BB, $C_{BC} \sim 1.4 \text{ pF}$ (capacita' base-back misurata) e C_B (capacita' totale di base) di ? pF. Essendo il denominatore pari ~ 1.5 , e calcolando agevolmente il prodotto: $\beta C_{BC} R_{LOAD} \sim 64 \mu\text{s}$, ed essendo $r_B \sim 2\text{M}$ si calcola **CB=30 pF?**

Per quanto riguarda il tempo di salita di $\sim 15 \mu\text{s}$, esso e' dato dalla capacita' del cavo coassiale LEMO ($\sim 1 \text{ pF/cm}$) e dalla resistenza d'ingresso dell'oscilloscopio, il cui prodotto darebbe $\sim 150 \mu\text{s}$

(qui c'e' decisamente qualcosa che non torna...)

Variando la width dell'impulso dato al LED (e quindi la carica generata nel substrato), si nota una non linearita' tra tale width e altezza del segnale.

Sull'oscilloscopio si vede un rumore $< 1 \text{ mV}$ e una baseline molto stabile.

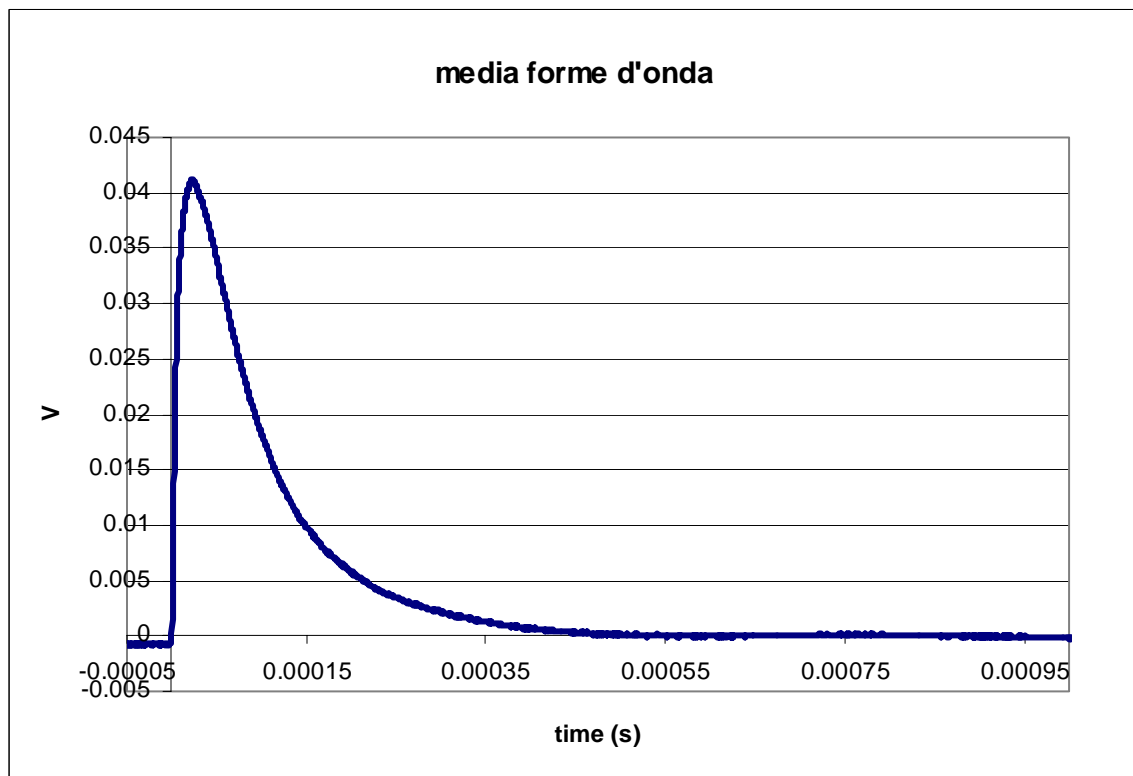


Figura 2: media di forme d'onda ottenute impulsando il laser IR. (I E=7.5 uA, I B = 13.1 nA)

Con la stessa configurazione si sono registrate alcune forme d'onda generate da beta di ^{90}Sr (figura 3) e acquisito (in pochi minuti) uno spettro di altezza d'impulsi (figura 4), triggerando a 2 mV. La noise hit rate e' stata stimata a ~ 5 Hz mentre quella dei segnali a ~ 50 Hz. Per cui nello spettro i primi bin occupati (< 2 mV) sono segnali di rumore.(?)

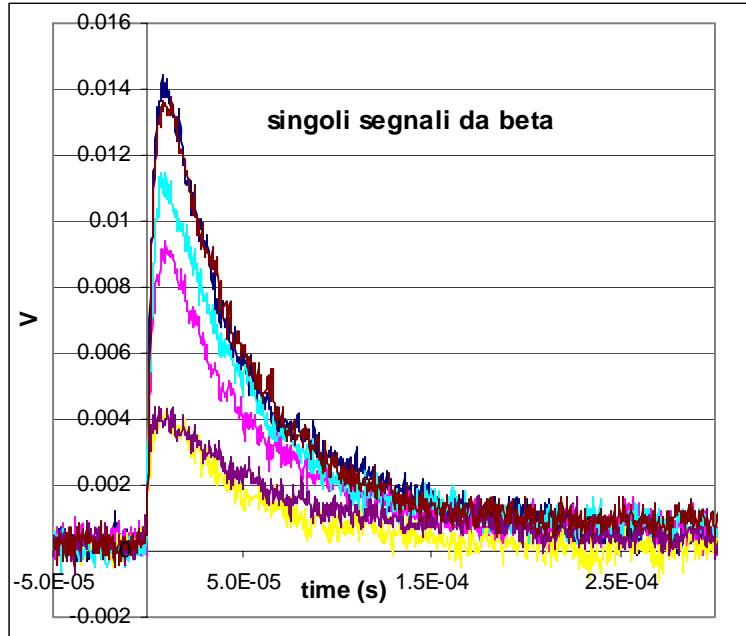


Figura 3: qualche acquisizione (single shot) di segnali indotti da beta da Sr 90. Si noti come si possa dare una stima del rumore rms < 1 mV.

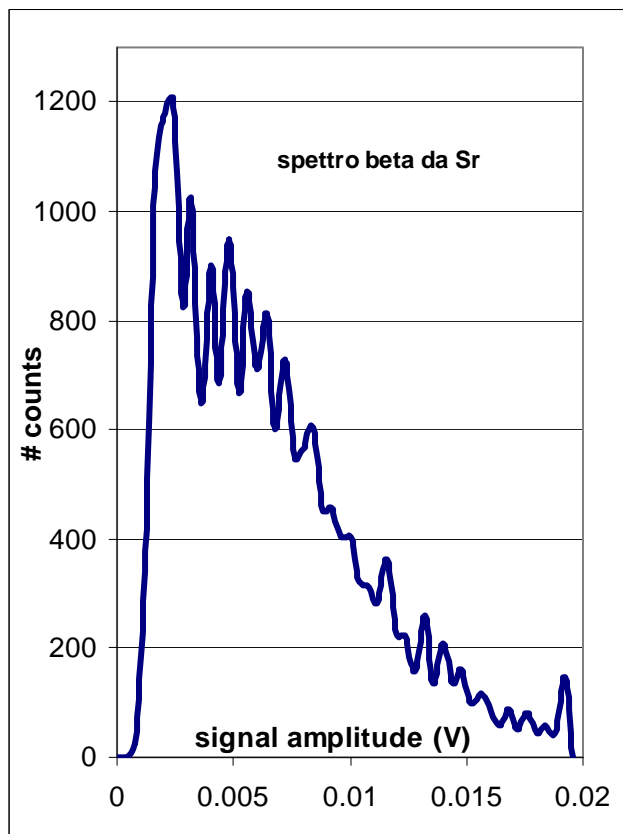


Figura 4: Spettro di altezza d'impulsi da beta di Sr 90 (20319 eventi).

Si e' registrato anche un evento da raggi cosmici su singolo pixel.(o c'era qualche sorgente interna alla dark box?). Si noti dalla figura 5, che mostra tale segnale, il tempo di decadimento di $\sim 80 \mu\text{s}$.

Avendo un rate di $\sim 1/\text{dm}^2/\text{sec}$ ci si aspetta un evento all'ora su un pixel di 2 mm^2 .

Il segnale e' stato ottenuto triggerando a 8 mV (e aspettando...).

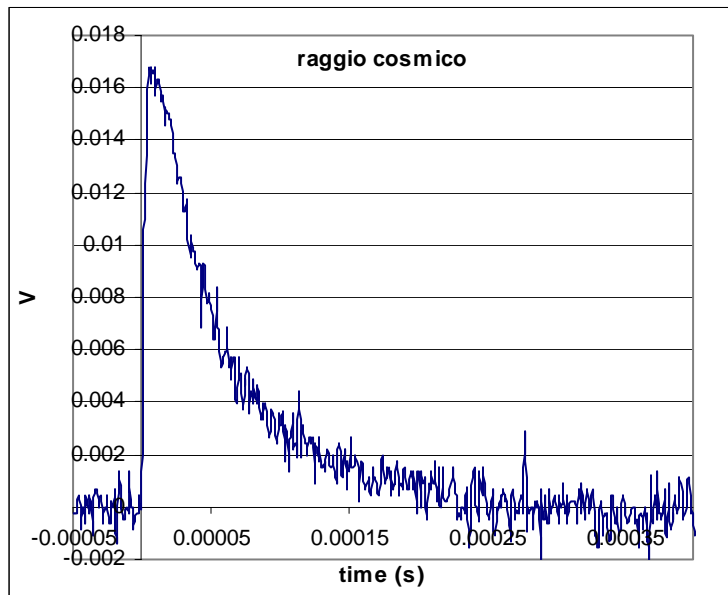


Figura 5: acquisizione di un raggio cosmico. Il trigger dell'oscilloscopio e' stato tenuto a 8 mV.

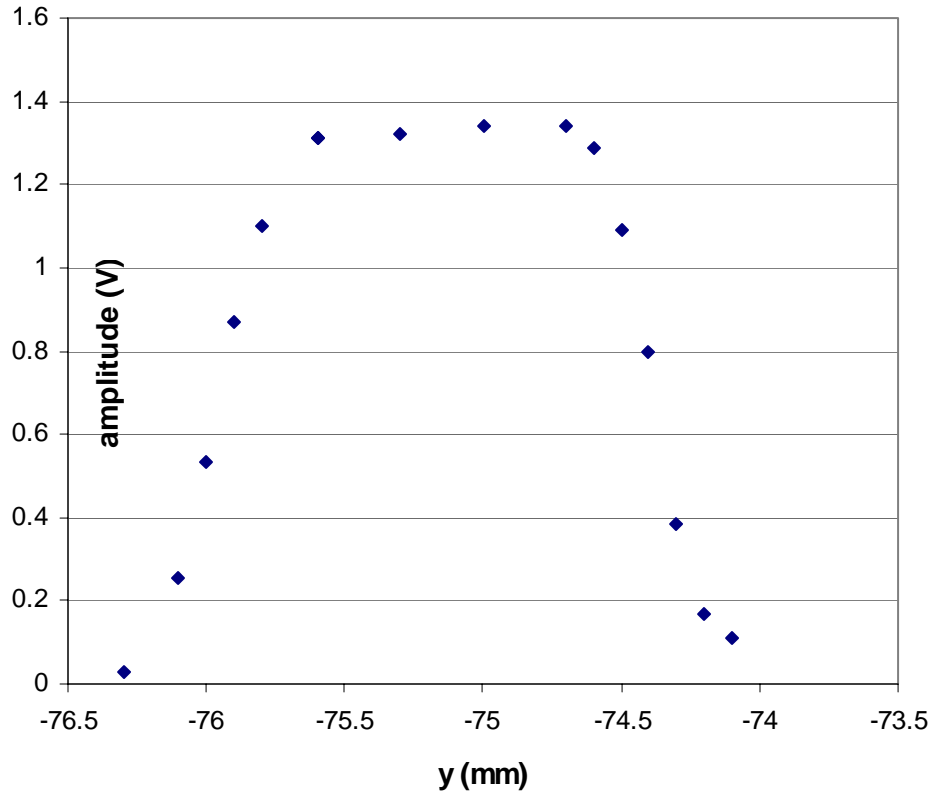
Per verificare l'uniformita' della raccolta di carica su tutta l'area attiva del pixel, si e' adoperata una tavola x-y posta al'interno della dark-box che muoveva la fibra ottica sopra il pixel fermo eseguendo degli scan in x, y e in diagonale.

Queste misure ci danno due informazioni:

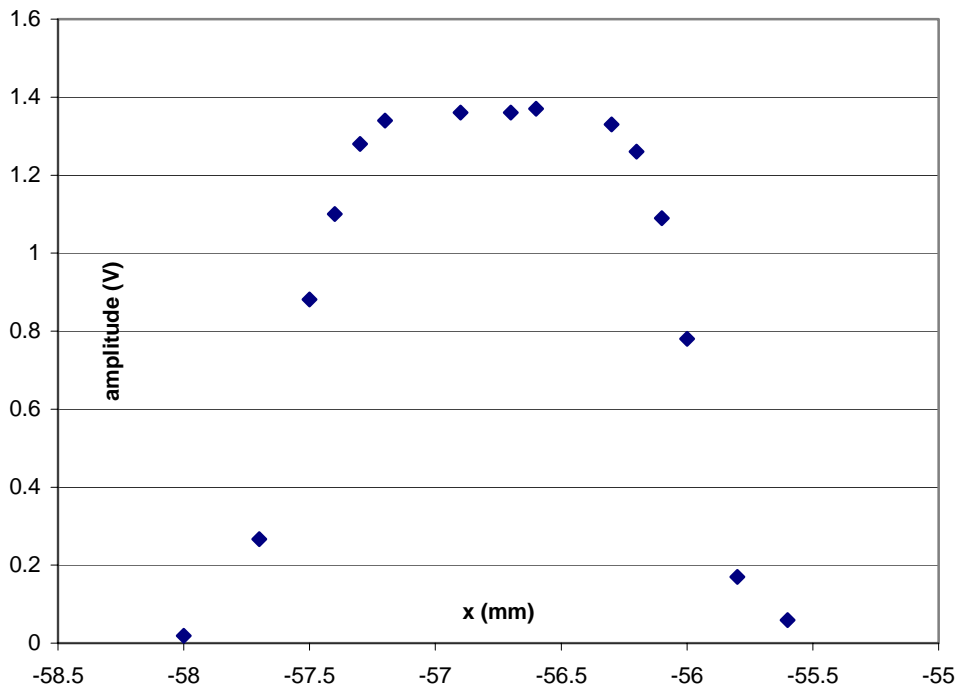
- 1) la posizione del centro del pixel rispetto al nostro sistema di coordinate;
- 2) la larghezza dello spot incidente sulla superficie del chip.

Dai plot riportati in figura 6, si nota come si abbia una piena raccolta di carica su un intorno di 0.5 mm dal centro del pixel e come solo negli ultimi 200 μm si perda carica. Cio' suggerisce come la larghezza dello spot laser sia di queste dimensioni.

scan in y



scan in x



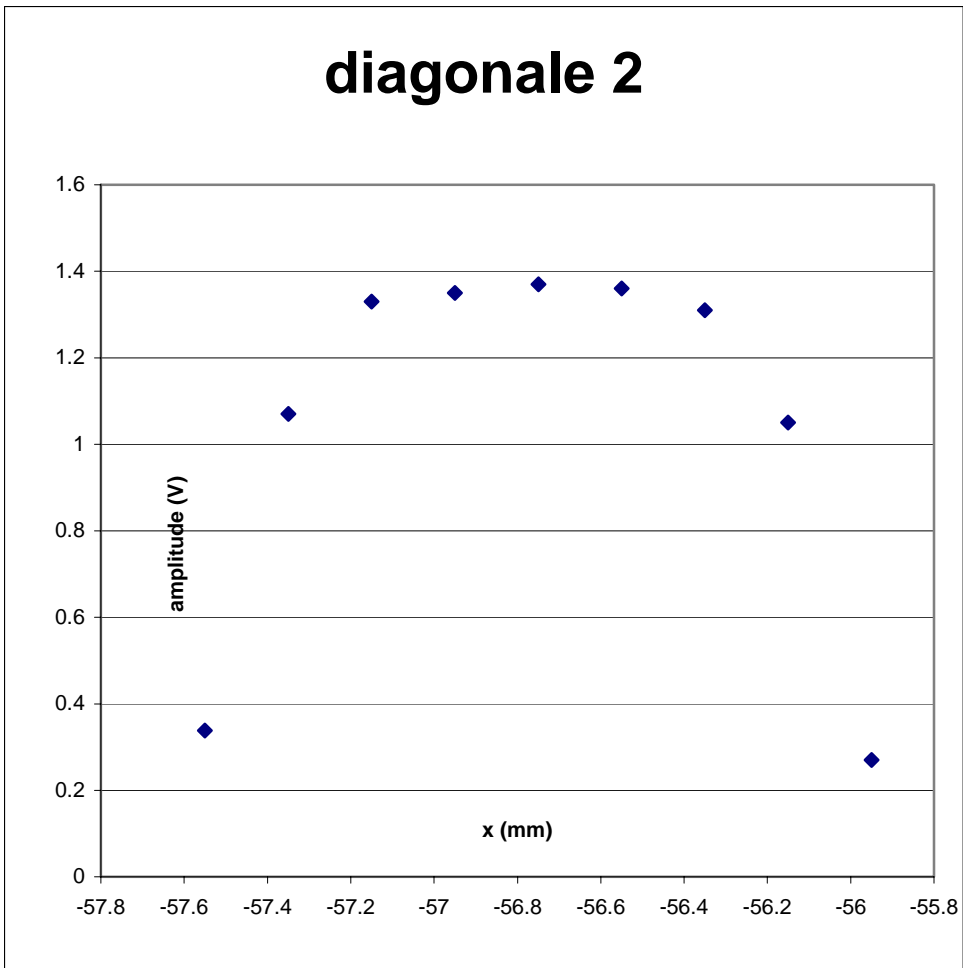
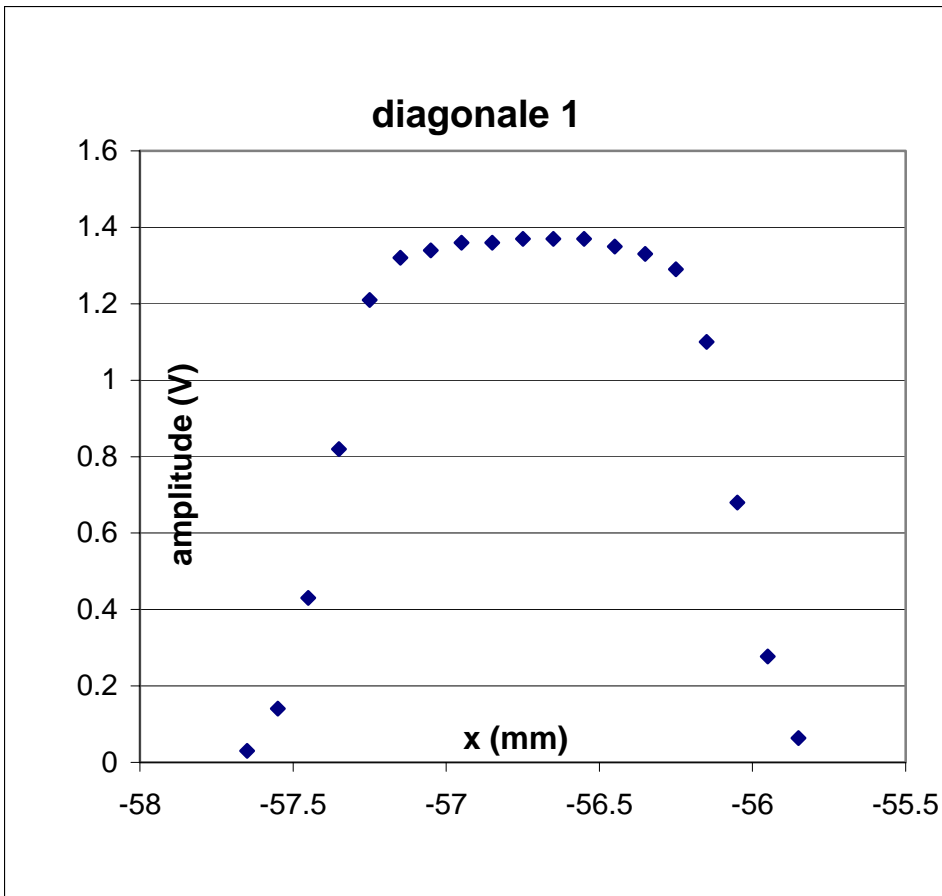


Figura 6: scan in x, y, e diagonali dell'altezza del segnale generato da un impulso laser.

Si e' passati a collegare in parallelo piu' pixel. Per polarizzare un ulteriore pixel come il primo e' sufficiente collocare una resistenza R LOAD di valore uguale a quella posta sull'emettitore del primo pixel nei socket propri del secondo pixel. Si verifica che la corrente I E misurata dall' HP4145B raddoppia. Il primo pixel collegato in parallelo e' stato il # 4 (vedi figura 1).

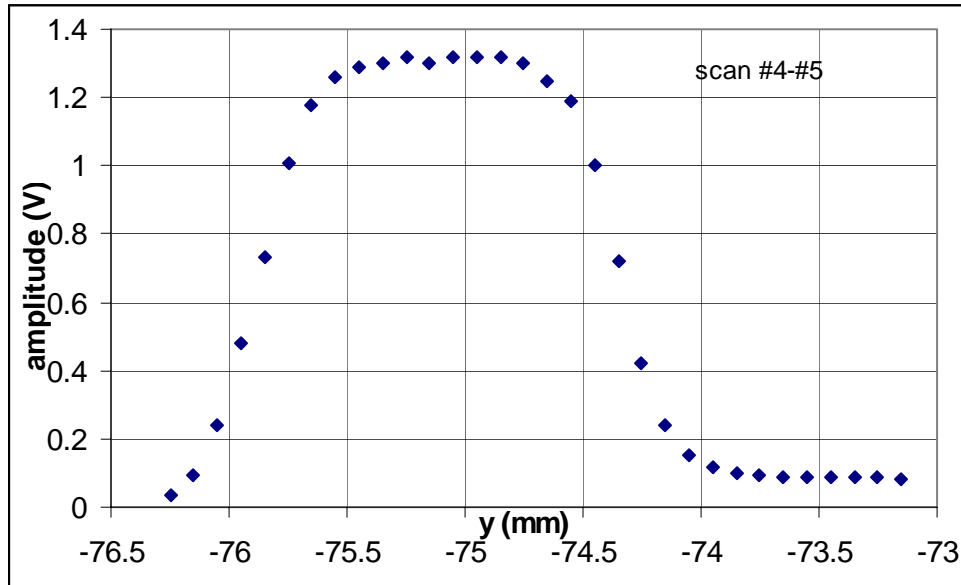


Figura 7: scan verticale dell'altezza d'impulso dal pixel #5 con pixel # 4 polarizzato.

Si e' effettuato uno scan verticale passando per la linea che congiunge i centri dei pixel, in maniera da verificare la raccolta di carica del pixel #5, con un pixel collegato. La figura 7 mostra tale scan e come l'efficienza non vari rispetto al singolo pixel # 5 polarizzato.

Si polarizzano anche i pixel adiacenti: #9 e # 10.

Si verifica che l' HP4145B misura una corrente quadrupla sulla linea che fornisce VEE, rispetto al caso con singolo pixel.

Centrando lo spot al centro di un pixel si sono registrate, sfruttando i quattro canali disponibili dell'oscilloscopio, le forme indotte su ciascun pixel.

La carica rilasciata al centro del pixel e' ben superiore a quella di una mip e l'altezza dei segnali indotti sugli altri pixel e' 1/20 o meno.

Tali segnali piu' piccoli potrebbero essere dovuti a cariche raccolte dagli altri pixel (difficile: il segnale e' ben centrato in un pixel), piu' difficile che essi siano indotti dalle cariche in movimento (non sono segnali bipolari e la distanza tra i pixel e' ben maggiore della profondita' nel substrato in cui si sviluppa la nube di carica); potrebbero essere dovuti ad induzioni capacitive nei cavetti non schermati che portano il segnale dal pixel al contatto LEMO fissato alla parete della scatola metallica. **(e' corretta questa conclusione?)**

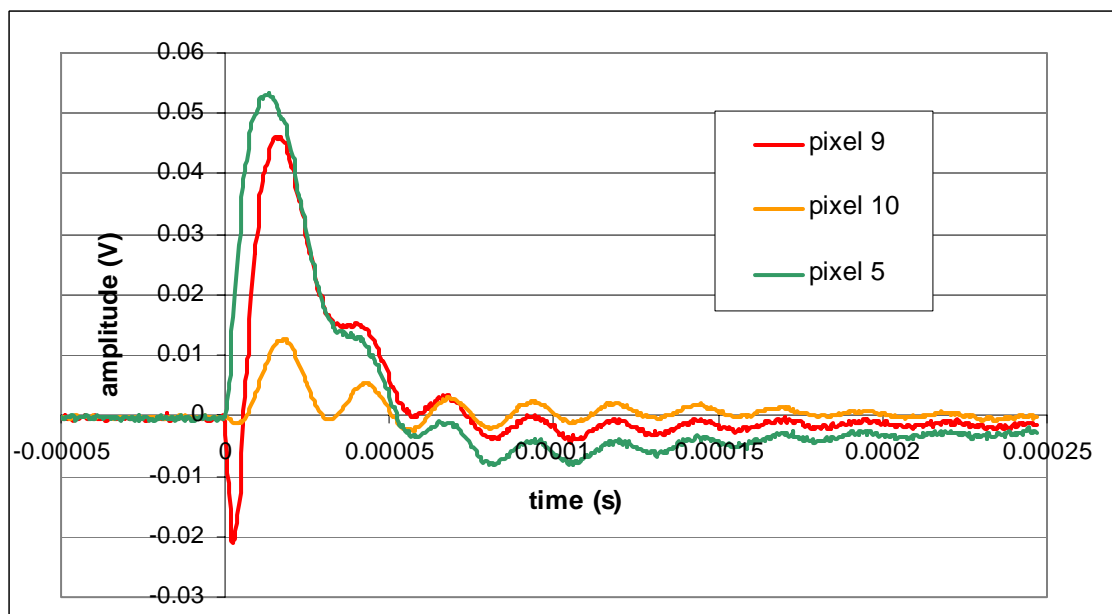
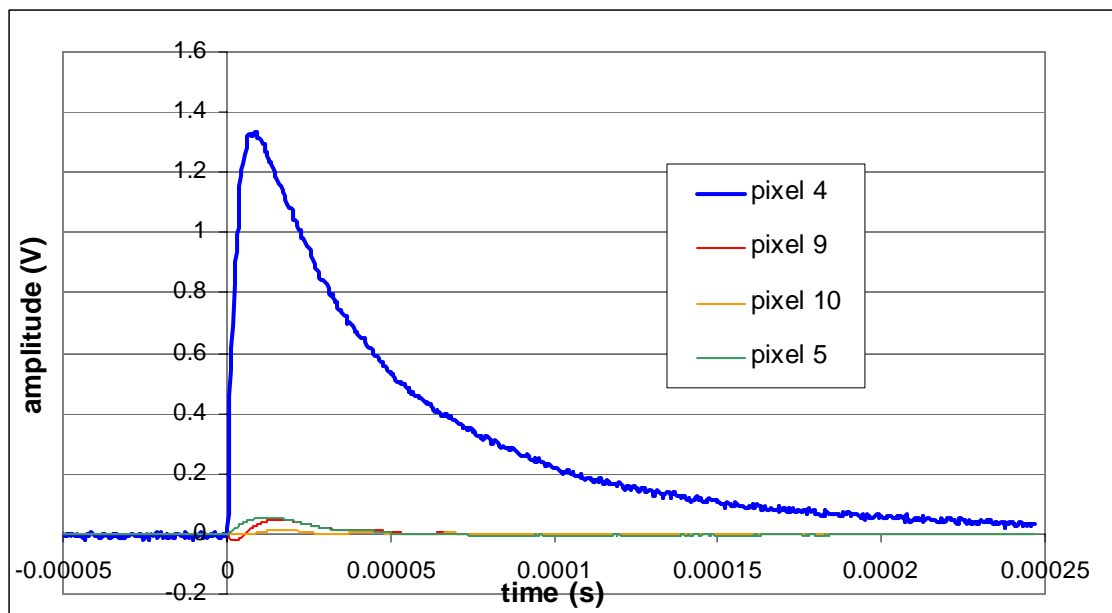


Figura 8: forme d'onda con tutti e quattro i pixel collegati e lo spot laser diretto al centro del pixel 4.

Con quattro pixel collegati, si muove lo spot dal centro del pixel 5 al centro del pixel 9, quindi lungo una traiettoria diagonale.

In figura 9 si riassumono i plot delle altezze d'impulso registrate per tutti e quattro i pixel in funzione della posizione.

La depressione nella regione di transizione tra un pixel e l'altro puo'essere dovuta alla riflessione di parte dello spot del laser sulle piste metallizzate che portano i segnali degli emettitori al bordo del chip. Essendo i segnali del pixel 4 maggiori di quelli del pixel 10, cio' suggerisce che non abbiamo ben centrato il centro del pixel di partenza e quindi ci muoviamo su una traiettoria spostata verso il pixel 4.

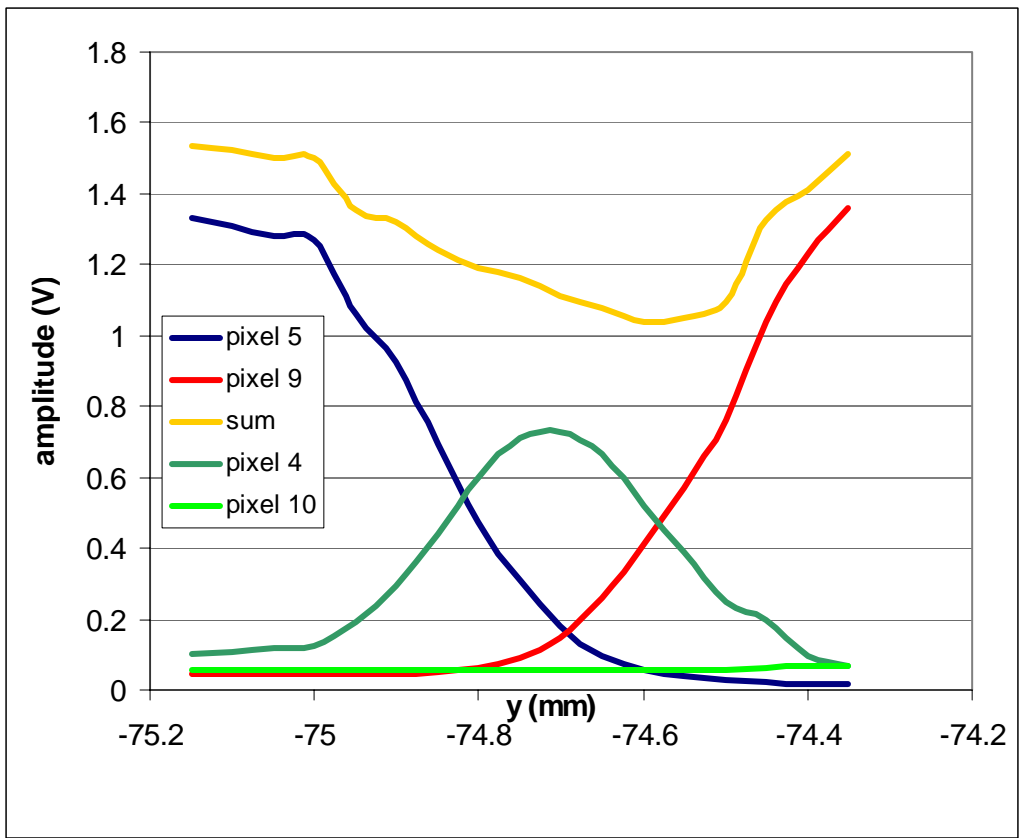


Figura 9: scan dell'altezza d'impulso dei segnali sui quattro pixel.