

Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Arrigo Lorenzi

Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Relatore:

Prof. Claudio Manfredotti

Collaborazioni:

Rudjer Boskovic Institute, Zagabria (HR)

IRCI, Borgaro Torinese

Laboratori Nazionali di Legnaro (Pd)

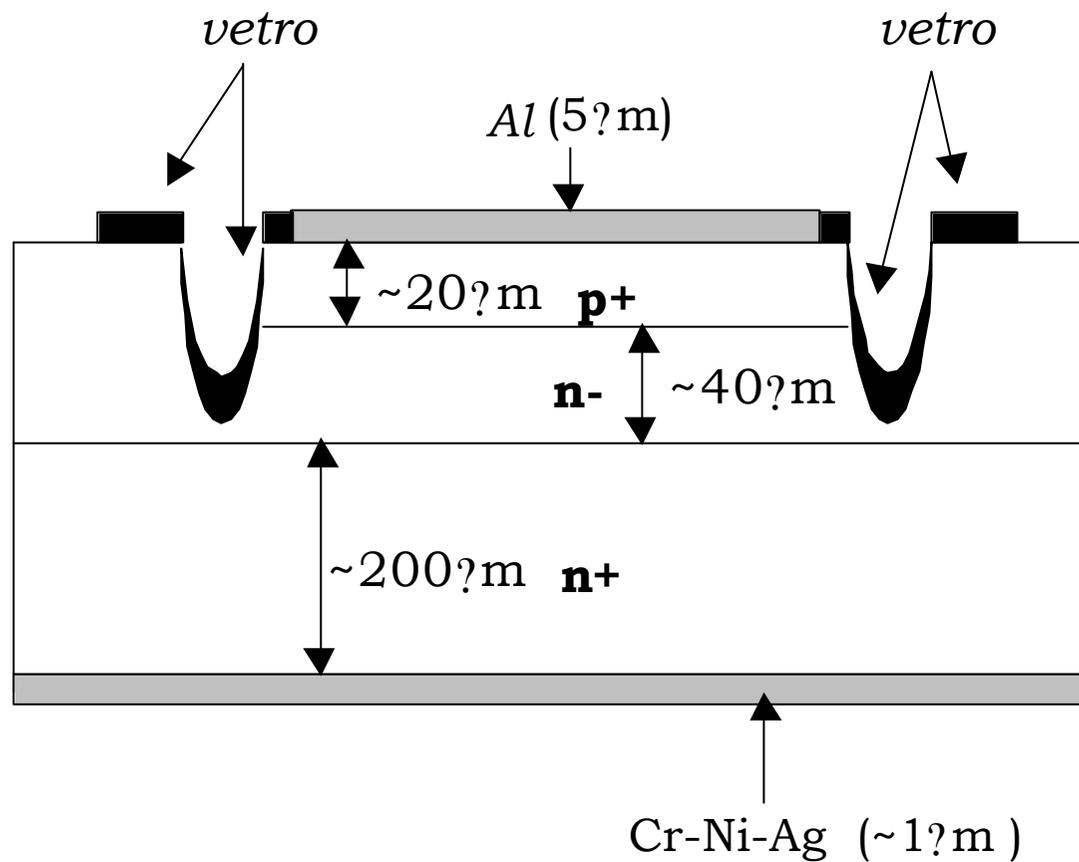
***La tesi è stata svolta nell'ambito dei progetti
ALCHIMIA e TRAP dell'INFN***

Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

- **Descrizione del dispositivo di potenza**
- **Descrizione dei difetti introdotti dall'irraggiamento con He-4**
- **Irraggiamento del dispositivo e simulazione dei suoi effetti**
- **Caratterizzazione elettrica del dispositivo**
- **IBICC (Ion Beam Charge Collection) laterale per studio locale del danneggiamento**

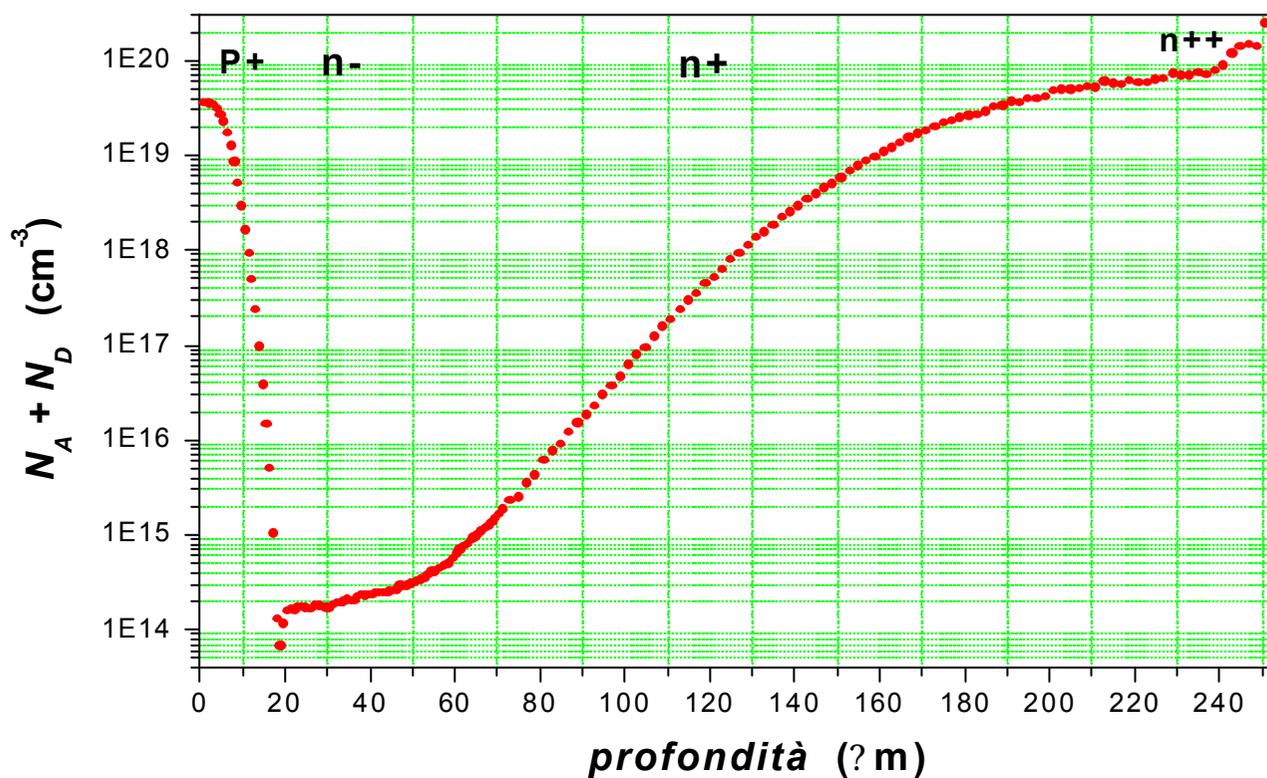
Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Dispositivo di potenza Glass Moat Diode



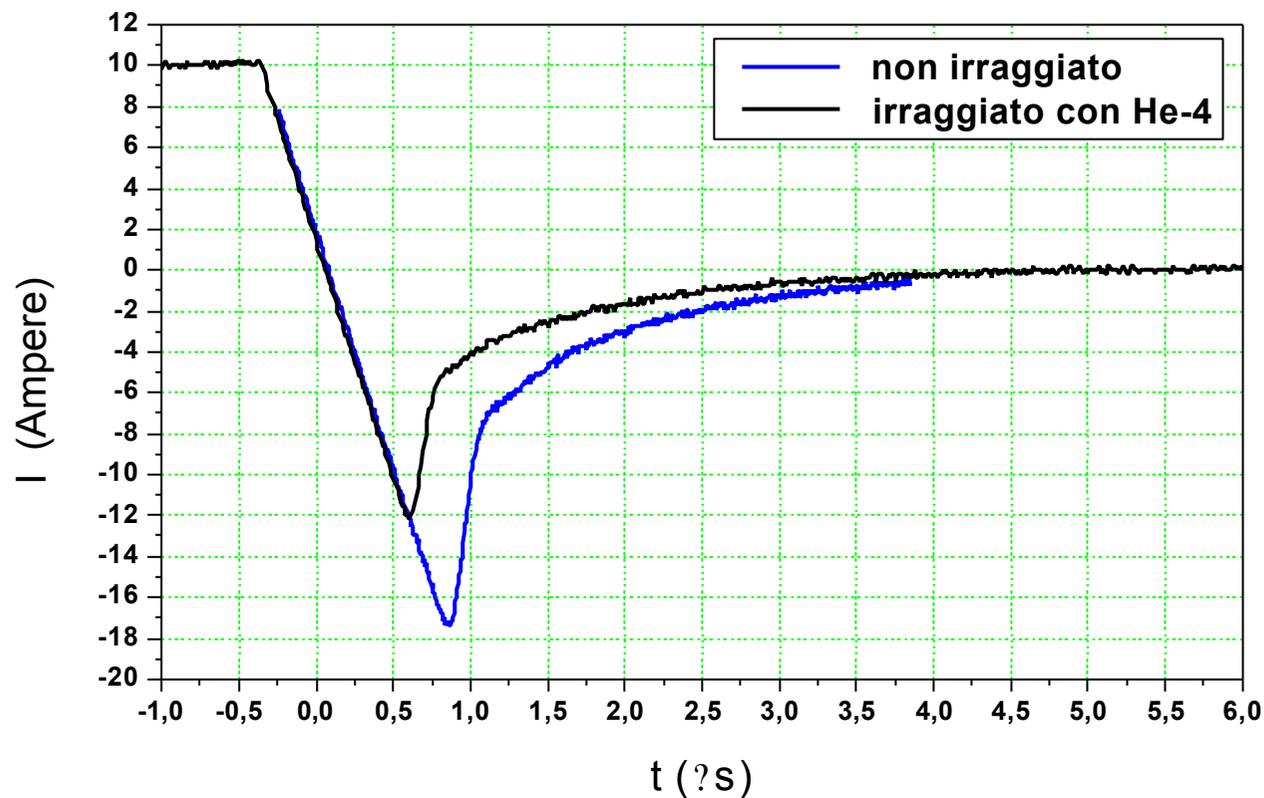
Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Dispositivo Glass Moat Diode. Profilo di drogaggio



Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Diodo irraggiato e non irraggiato: curve di recupero temporale



Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Tecniche di controllo del tempo di vita medio di elettroni e lacune

- **Diffusione oro o platino**
- **Irraggiamento con elettroni**
- **Danneggiamento con fasci di ioni leggeri**

Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Principali livelli profondi introdotti e tempo di vita

Difetto	Identificazione	E_T (eV)	$\tau_n (cm^2)$	$\tau_p (cm^2)$
E1	VO	$E_c - 0.18$	$2 \cdot 10^{-14}$	$4 \cdot 10^{-13}$
E2	V2(-, 2-)	$E_c - 0.23$	$5 \cdot 10^{-16}$	$7 \cdot 10^{-14}$
E4	V2(-, 0)	$E_c - 0.43$	$5 \cdot 10^{-15}$	$4 \cdot 10^{-14}$
H2	COV	$E_v + 0.34$	$4 \cdot 10^{-17}$	$4 \cdot 10^{-14}$

Dalla teoria di Shockley, Read e Hall:

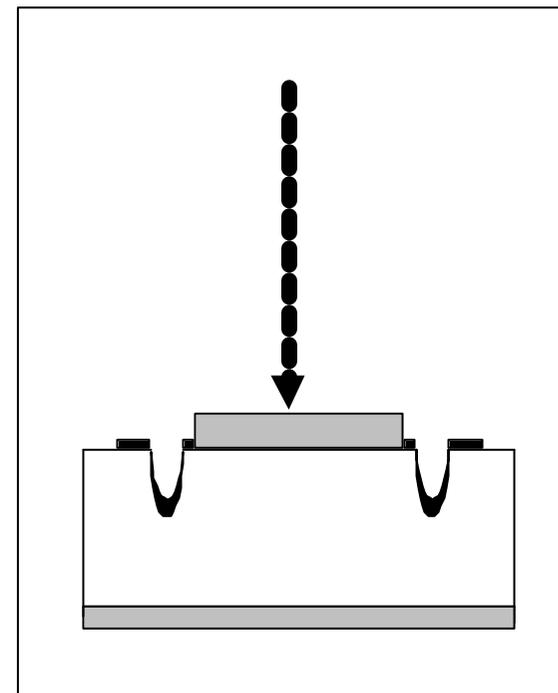
$$\frac{1}{\tau} = \sum_{j=1}^M \frac{(n_j - n_0) c_{pj} c_{nj} N_{Tj}}{c_{nj} (n_0 + n_j) + c_{pj} (p_0 + p_j)}$$

$$n_j = N_C \exp\left(\frac{E_C - E_T}{kT}\right) \quad p_j = N_V \exp\left(\frac{E_T - E_V}{kT}\right)$$

Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

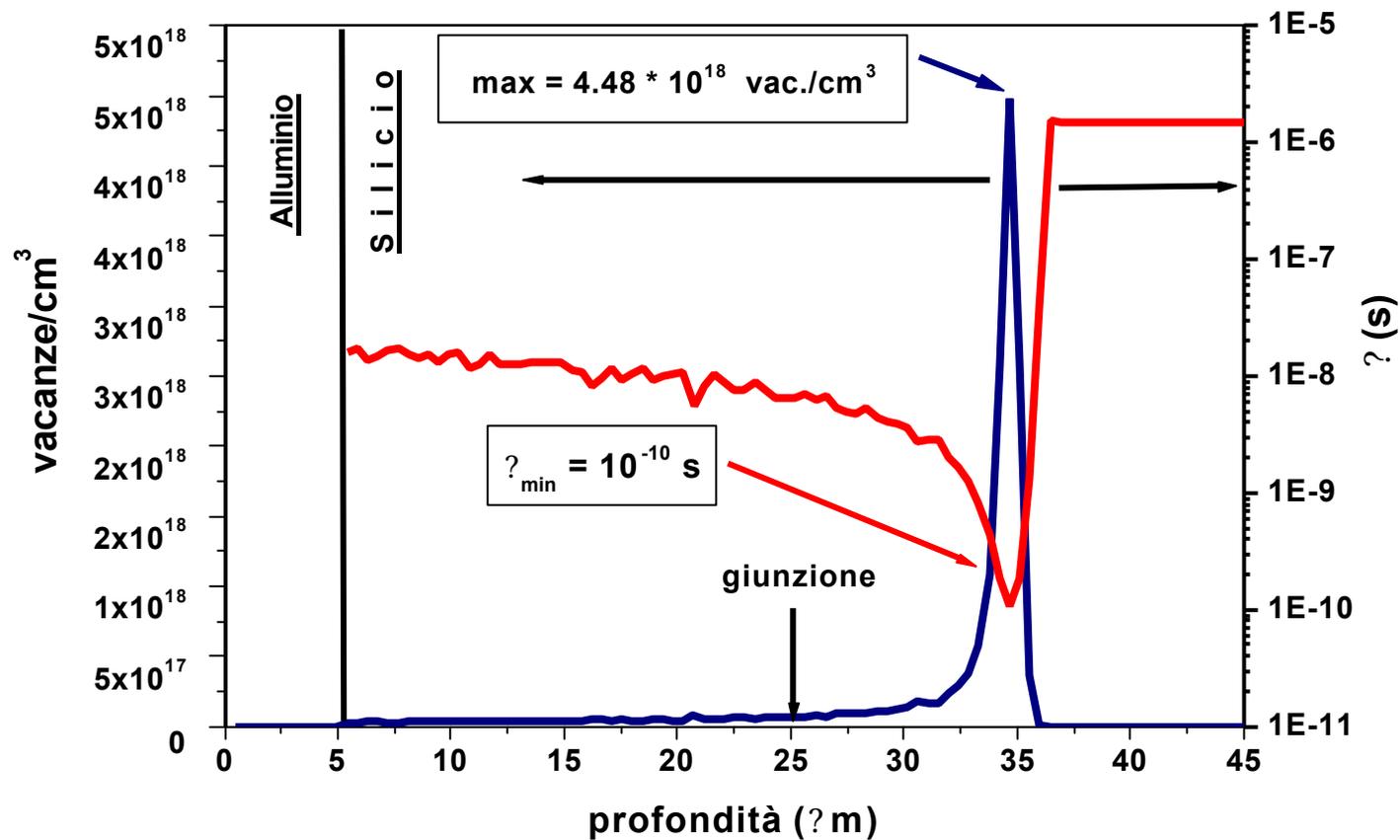
Irraggiamento del dispositivo (acceleratore CN - LNL)

- **Ione incidente: He-4 doppia carica**
- **Energia: $E = 6.5 \text{ MeV}$**
- **Corrente del fascio: $I = (0.10 ? 0.01) \text{ nA}$**
- **Diametro del fascio: $d ? 1 \text{ mm}$**
- **Dose stimata: $D ? 2 * 10^{12} \text{ 1/cm}^2$**



Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Simulazione con SRIM: vacanze/cm³ e tempo di vita medio

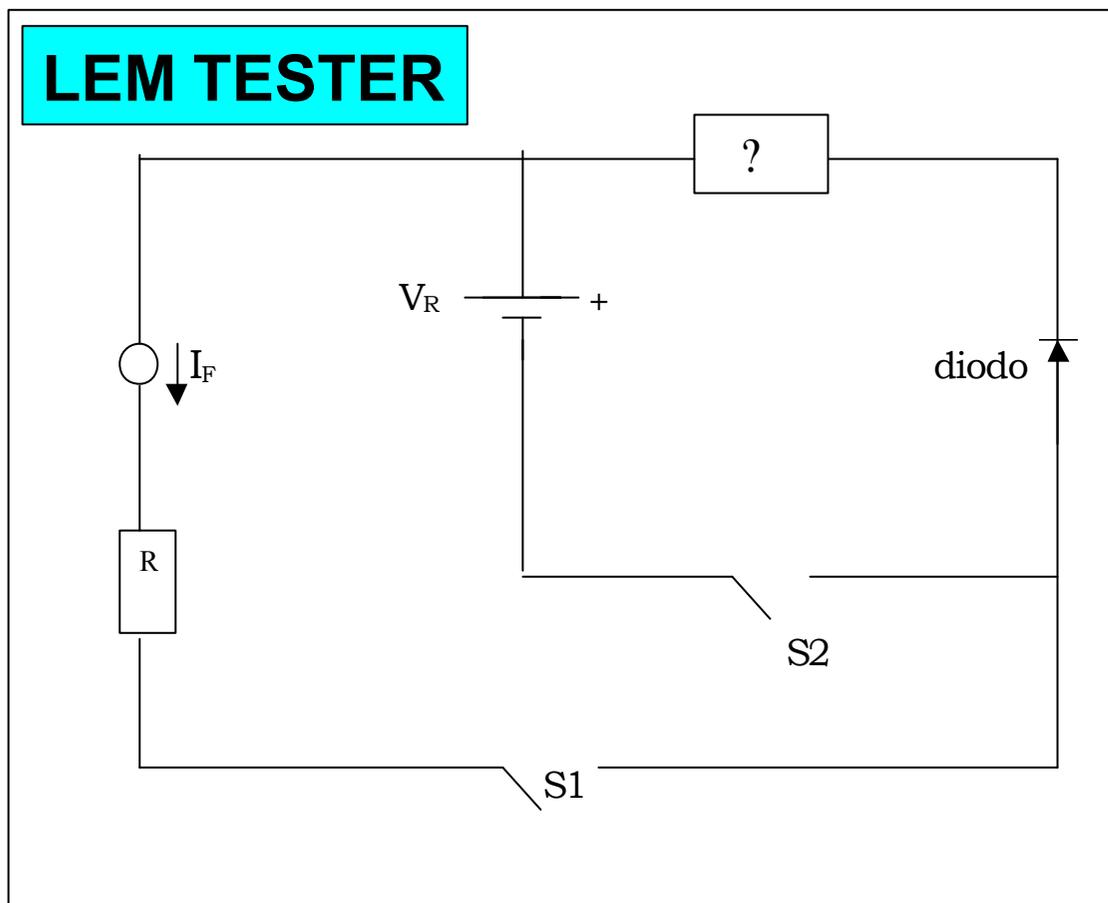


Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Circuito per misure di transiente ON - OFF

**Equazione del
circuito:**

$$IR_d - ? * (dI/dt) = V_R$$



Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Stima del tempo di vita medio di elettroni e lacune

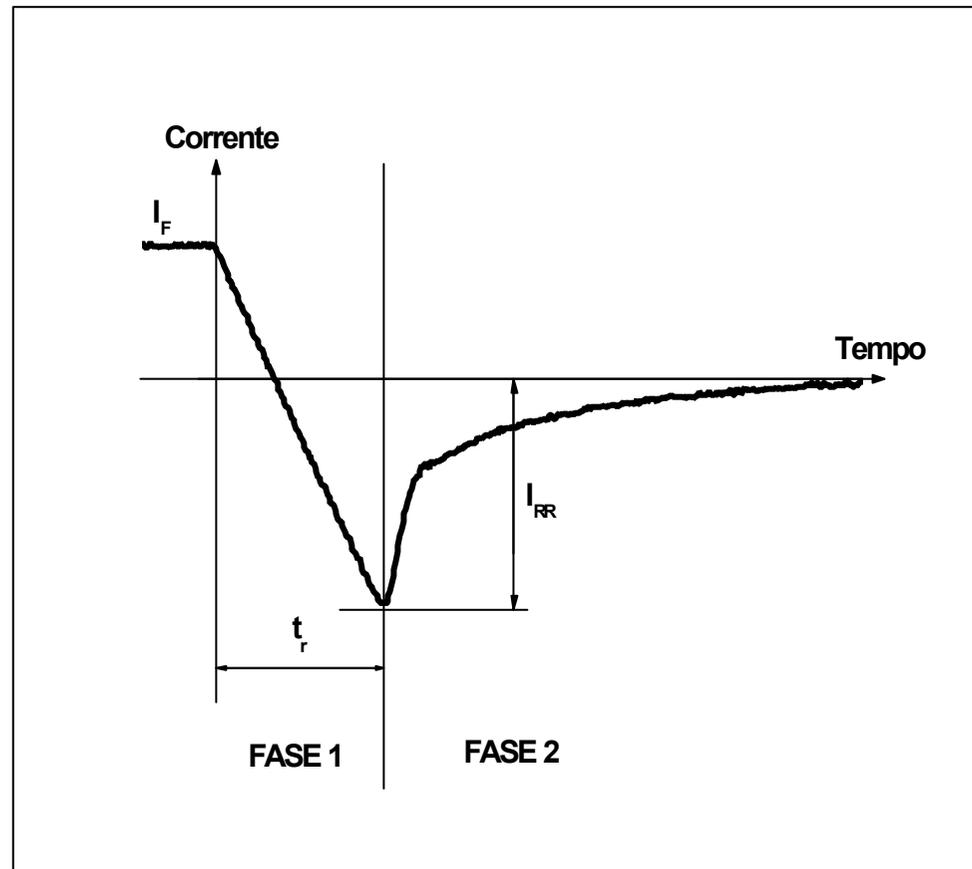
$$IR_d - \lambda(dI/dt) = V_R$$

Fase 1:

$$dI/dt = -V_R/\lambda$$

Si risolve l'equazione:

$$D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} - \frac{n}{\tau} = \frac{\partial n}{\partial t}$$



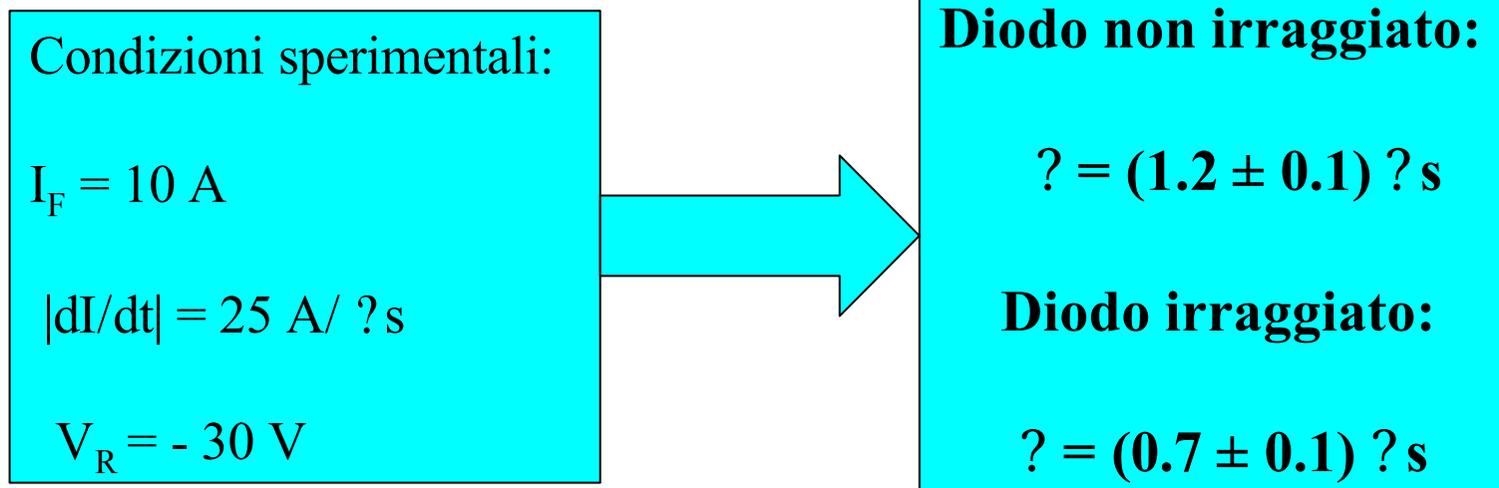
Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Stima del tempo di vita medio di elettroni e lacune

Ipotesi di regione di svuotamento molto stretta ($w \ll L$):

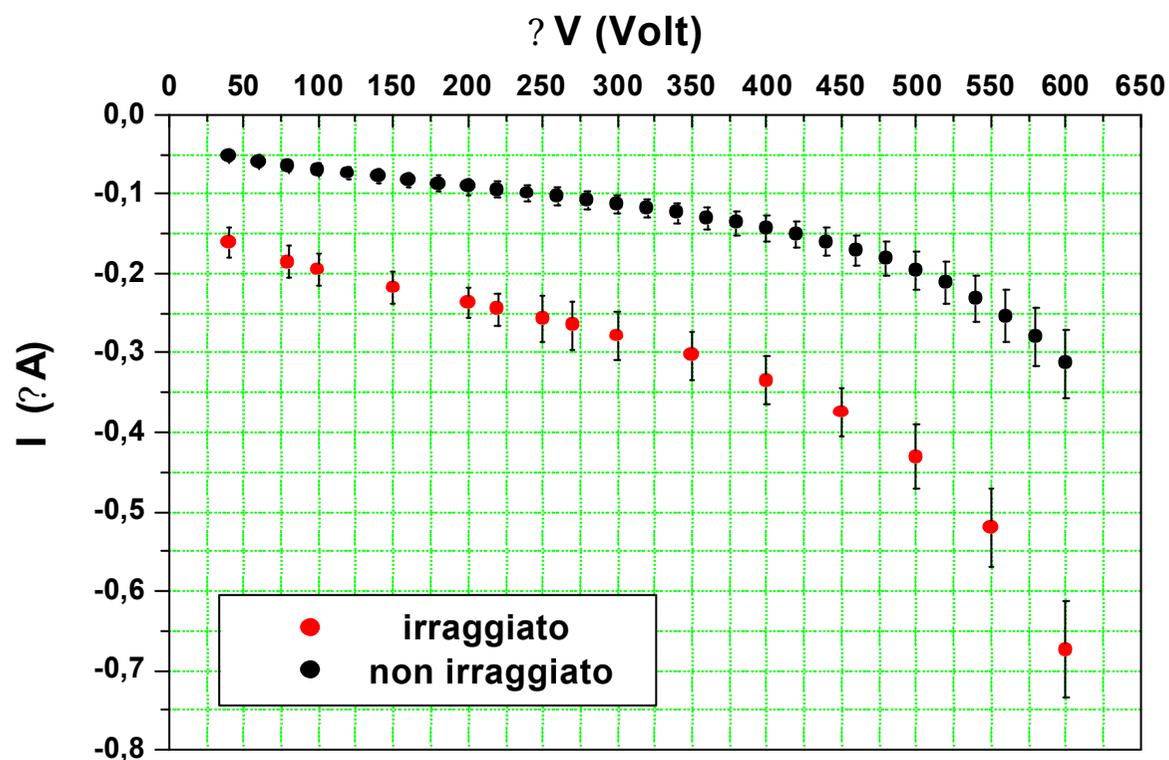
$$\frac{I_{RR}}{I_F - I_{RR}} \approx \frac{1}{T_r} \left[1 - \frac{2b - 1}{b + 1} \frac{W^2}{6} \right] \exp(-T_r)$$

Con: $W = w/L$ e con $T_r = t_r$



Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

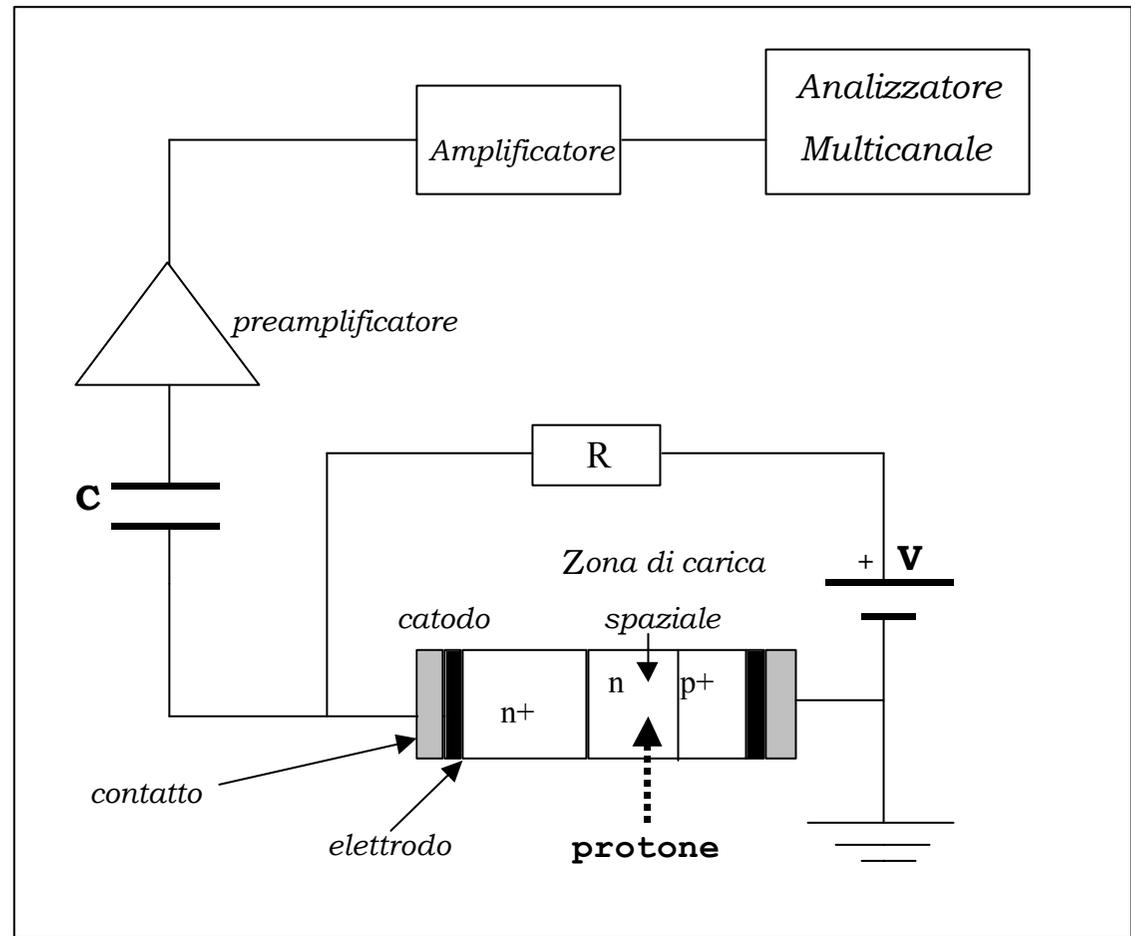
Caratteristiche tensione-corrente in inversa a confronto



Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Misure di IBICC laterale

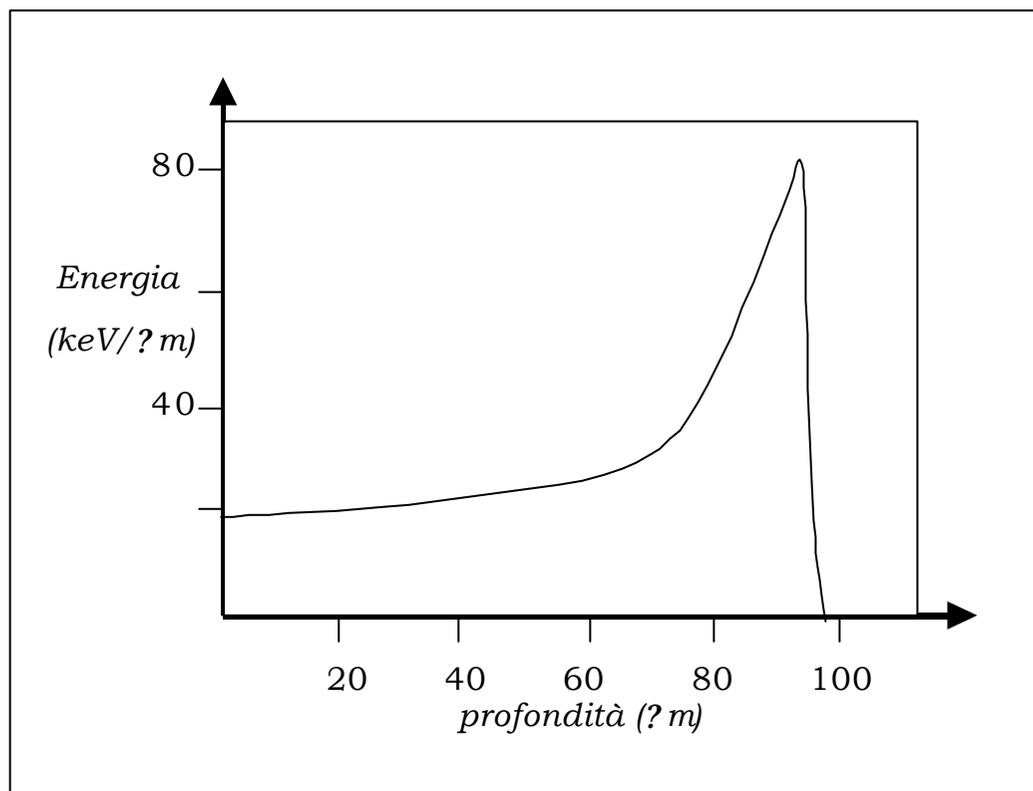
**Rudjer Boskovic
Institute, Zagabria.
Apparato sperimentale
per microscopia
ionica laterale**



Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

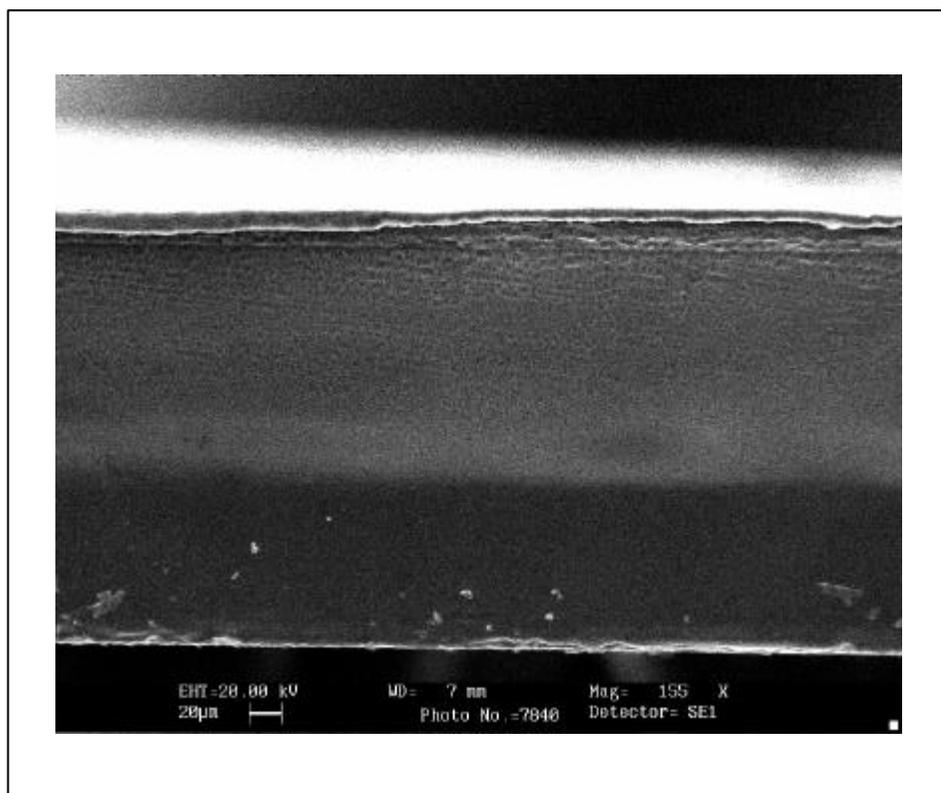
Misure di IBICC laterale

Profilo di ionizzazione di un protone di energia 3 MeV nel silicio



Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Misure di IBICC laterale



Preparazione dei campioni (1)

Taglio del dispositivo
con mola di precisione

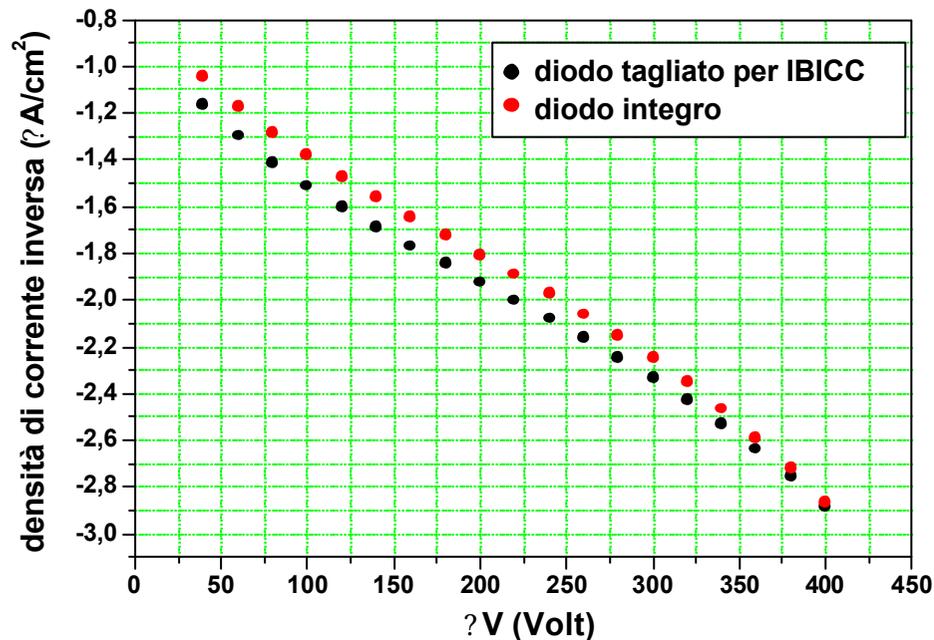
Mascheratura degli
elettrodi con fotoresist

Attacco acido
miscela (4:28:10) di
(HF: HNO₃ : CH₃COOH)

Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Misure di IBICC laterale

**Diodo intero e diodo preparato per IBICC:
densità di correnti inverse a confronto**



Preparazione dei campioni (2)

Rimozione
fotoresist

Soffiatura con azoto
e breve cottura sotto
lampada

Test elettrico a
tensione inversa

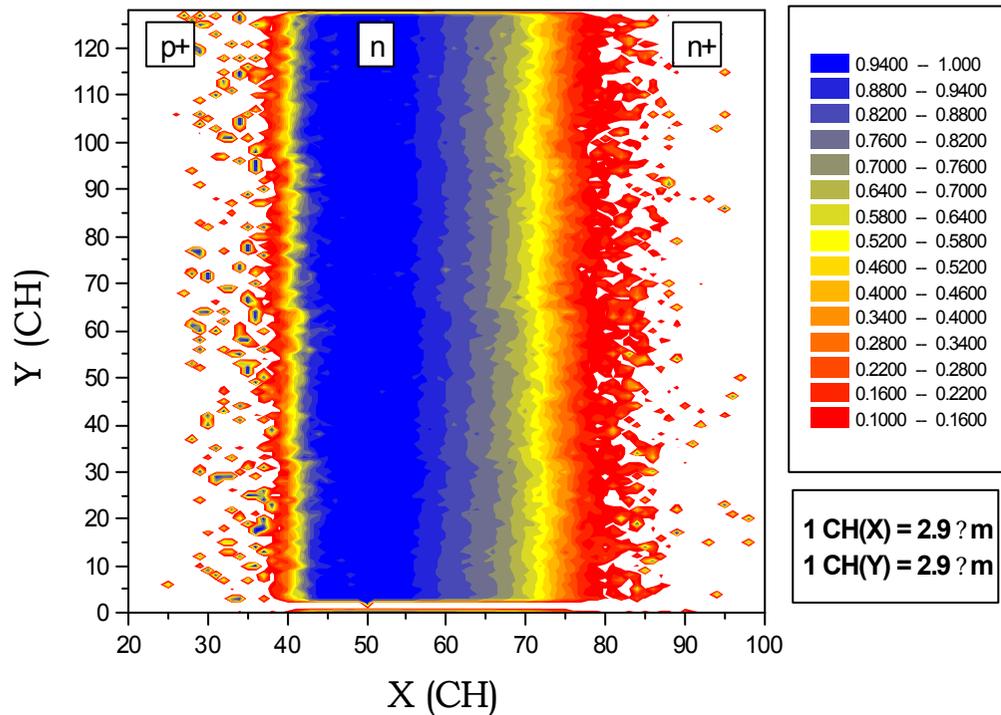
Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Misure di IBICC laterale: risultati sperimentali

Dispositivo non irraggiato:

$V = -50 \text{ V}$, $ST = 1 \text{ ? s}$

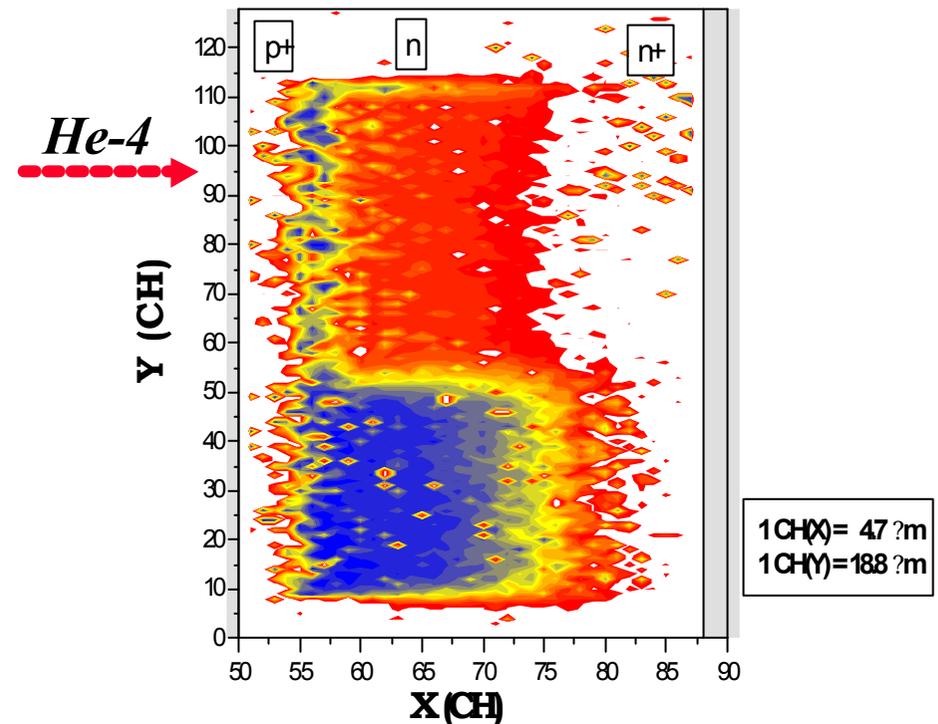
Counting rate = 400 1/s



Dispositivo irraggiato:

$V = -10 \text{ V}$, $ST = 1 \text{ ? s}$

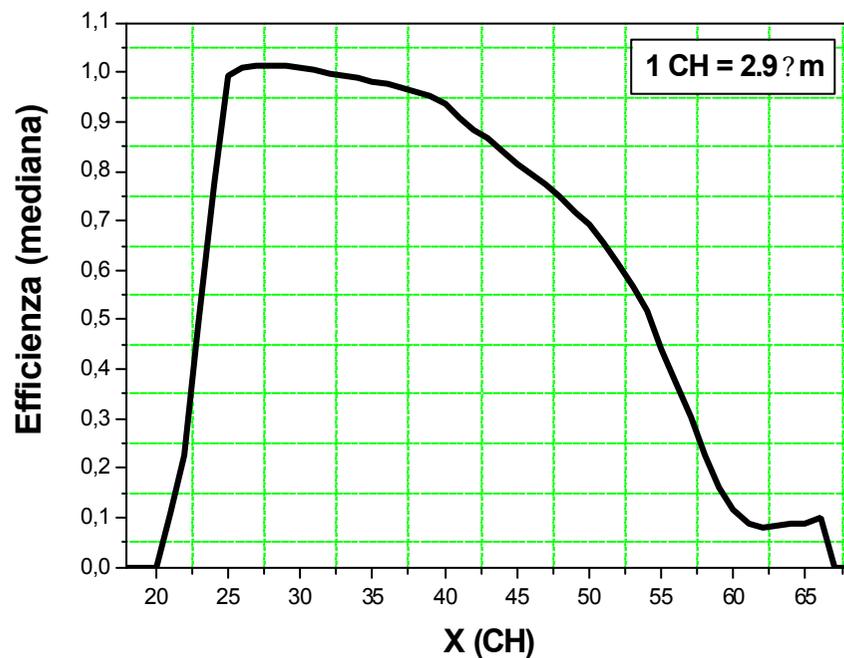
Counting rate = 50 1/s



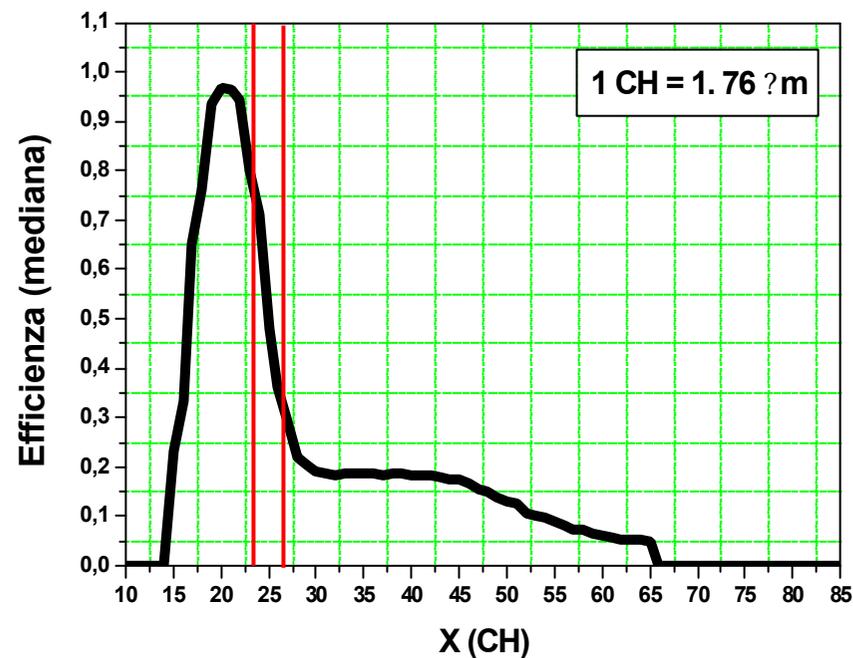
Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Misure di IBICC laterale: risultati sperimentali

**Dispositivo non irraggiato.
Mediana del profilo di
efficienza a $V = -50$ V**



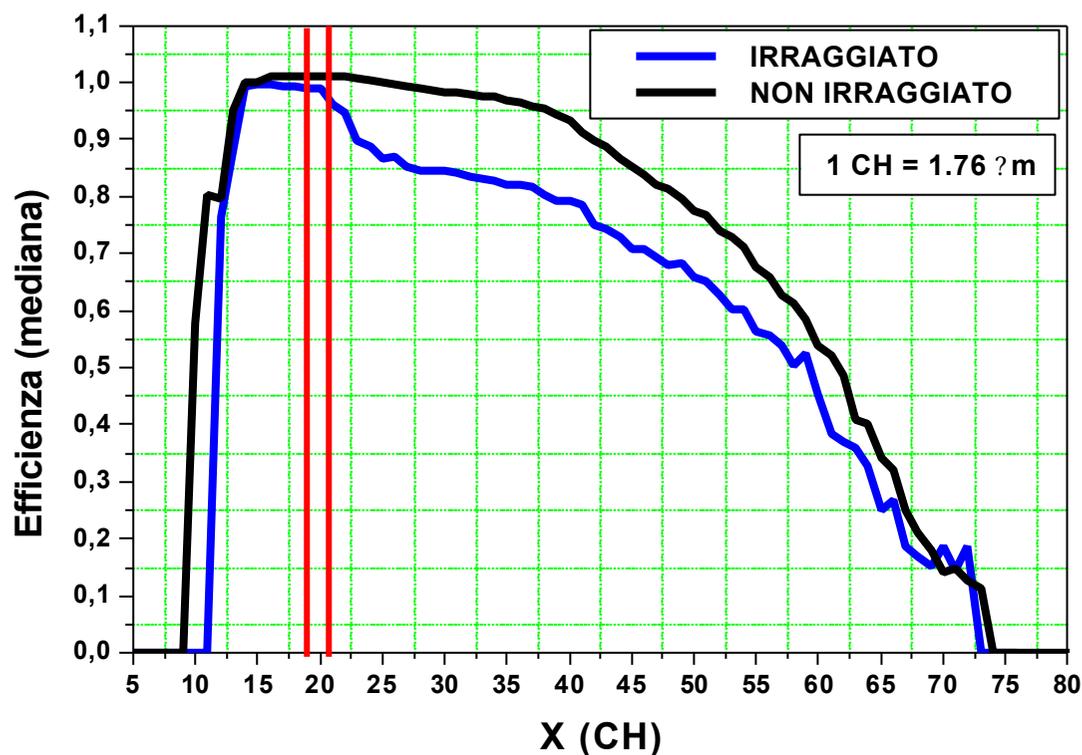
**Dispositivo irraggiato.
Mediana del profilo di
efficienza a $V = -10$ V**



Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Misure di IBICC laterale: analisi dei risultati

Dispositivo irraggiato: profilo di mediana di efficienza nella regione irraggiata e in quella non irraggiata a $V = -50$ V

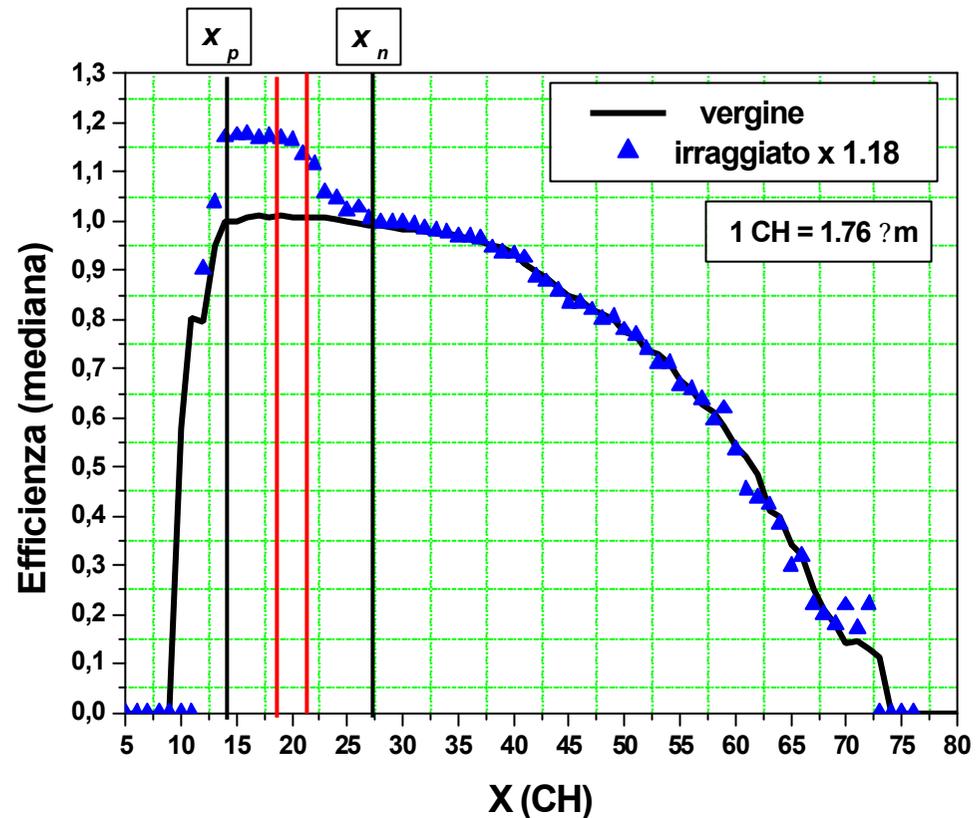


Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

IBICC laterale: analisi dei risultati

Dispositivo irraggiato

Profilo di mediana di efficienza nella regione irraggiata e in quella non irraggiata a $V = -50$ V.
Normalizzazione dei valori di mediana nella regione di diffusione della zona irraggiata sui valori nella zona non irraggiata.
Il rapporto è circa **1.18**



Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

Misure di IBICC laterale: analisi dei risultati

Regione di diffusione delle lacune: efficienza di raccolta

Si risolve l'equazione di continuità per le lacune in eccesso:

$$D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial p}{\partial t} = G_p$$

Nell'ipotesi di tempo di vita medio costante e molto minore del tempo di integrazione ST del circuito:

$$p = p_0 \exp[-(x_0 - x_n)/L_p]$$

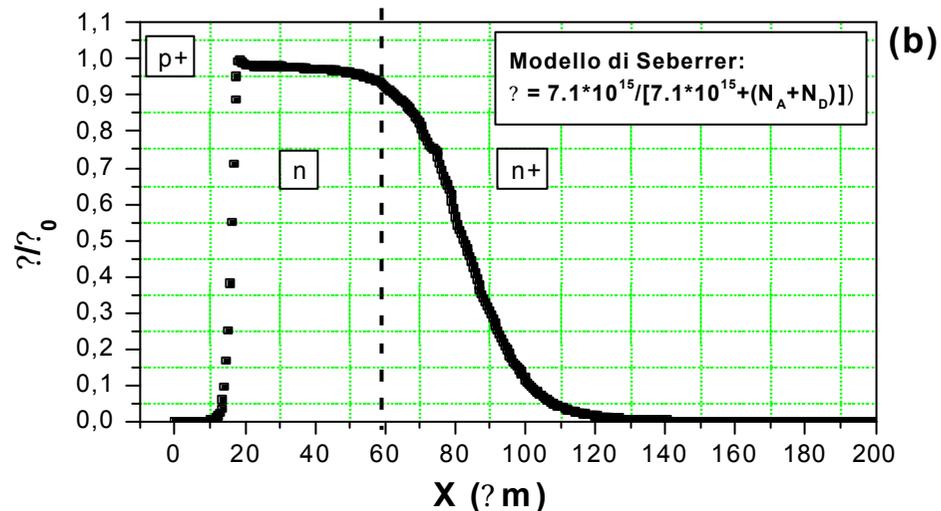
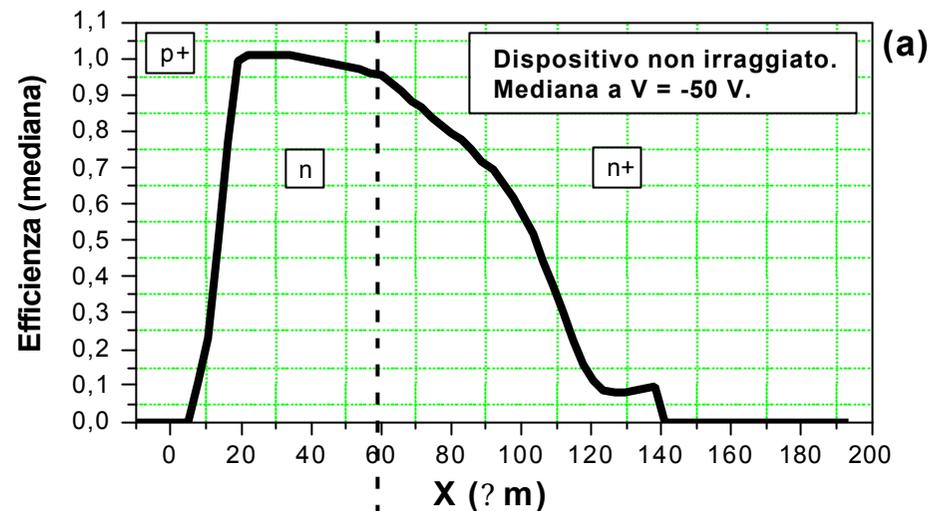
Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

IBICC laterale: analisi dei risultati

Dispositivo non irraggiato

(a) Profilo di mediana di efficienza a $V = -50$ V

(b) Tempo di vita medio dei portatori nel dispositivo (modello di Seberrer)



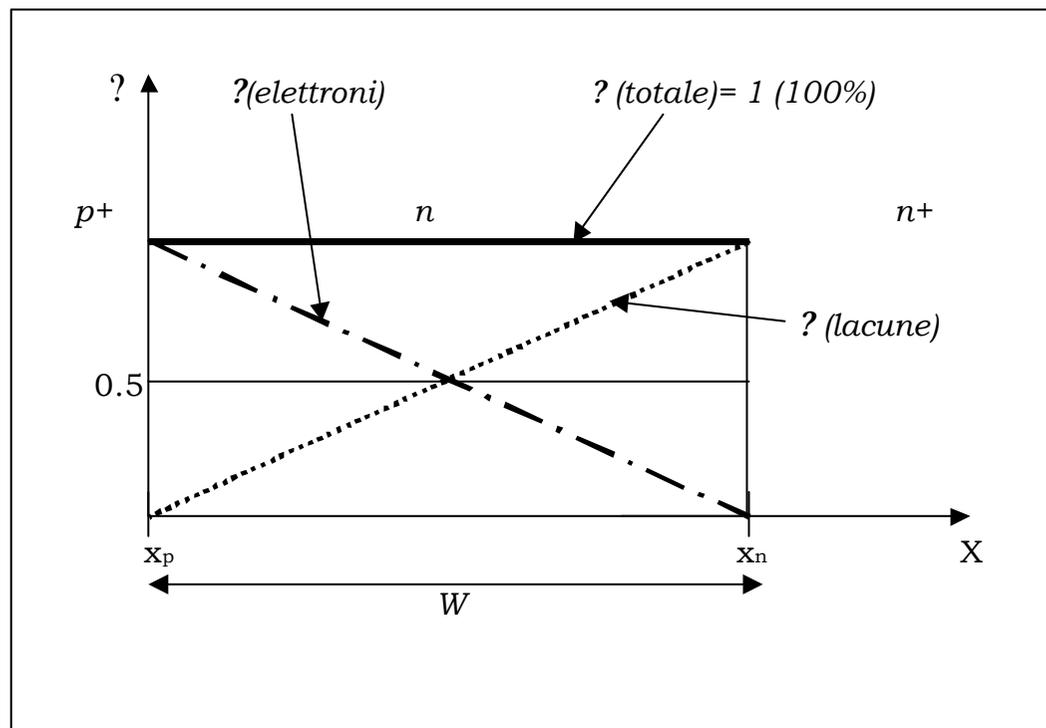
Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

IBICC laterale: analisi dei risultati

Regione di carica spaziale: efficienza di raccolta

Teorema di Ramo generalizzato:

$$q = e \int x/d$$



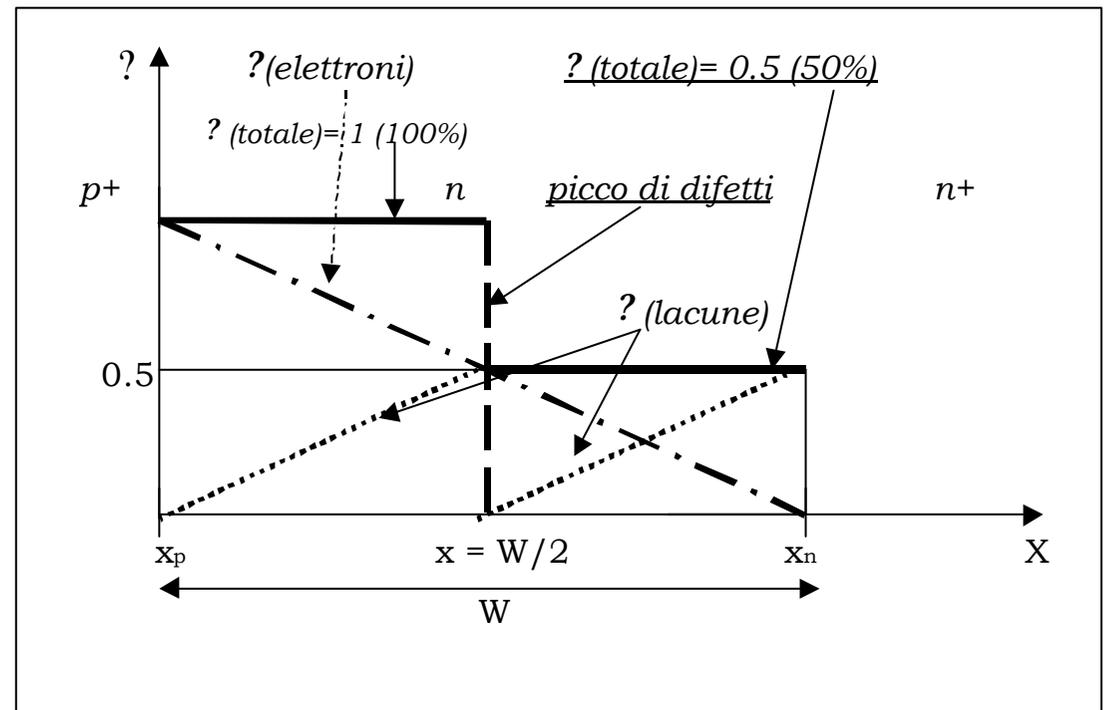
Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

IBICC laterale: analisi dei risultati

Regione di carica spaziale: efficienza di raccolta

**Teorema di Ramo generalizzato:
effetto del
danneggiamento da He-4
sull'efficienza di raccolta**

**Ipotesi di cattura
totale da parte dei
centri profondi**



Danneggiamento da fasci di He-4 di dispositivi di potenza

CONCLUSIONI

- **Il danneggiamento indotto da ioni su dispositivi di potenza produce una sensibile riduzione del tempo di recupero ed un aumento in modulo non eccessivo della corrente inversa.**

- **La tecnica IBICC ha permesso un'analisi dettagliata delle proprietà elettroniche dei dispositivi non irraggiati e di quelli irraggiati, evidenziando gli effetti del danneggiamento locale.**