



POLITECNICO DI MILANO

Piazza Leonardo da Vinci, 32 - 20133 Milano
Tel. +39.02.2399.1 - <http://www.polimi.it>



FOTORIVELATORI BASATI SU SEMICONDUTTORI ORGANICI : caratteristiche e prospettive

Marco Sampietro



SOMMARIO

- Principali proprietà dei semiconduttori organici
- Fotogenerazione di carica
- Fotorivelatori per radiazione NIR
- Rivelatori per raggi gamma
- Substrati e contatti

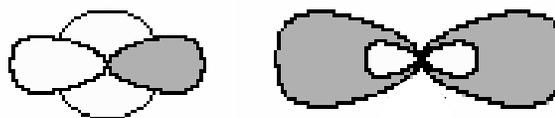


IL CARBONIO E' SPECIALE

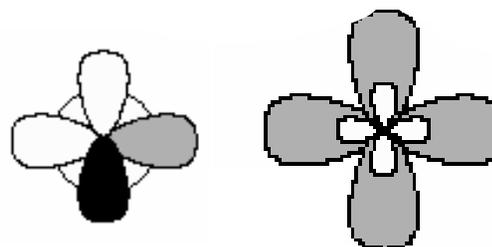
- C^6 : 6 elettroni , $1s^2 2s^2 2p^2$
- Elettronegatività media (tendenza a “condividere” elettroni piuttosto che “catturarli” o “cederli”)

• Ibridizza:

sp



sp^2



sp^3



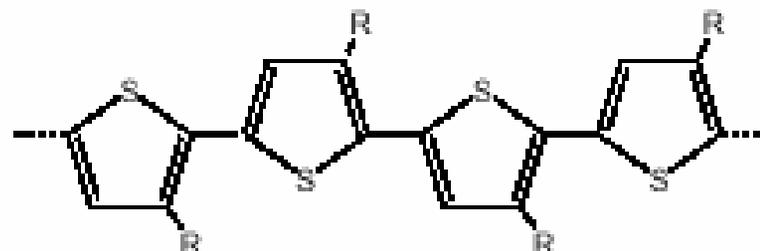
Diamante

- Si lega con altri carbonii

ORGANIZZAZIONE MOLECOLARE

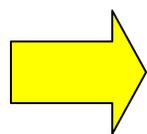


Pentacene

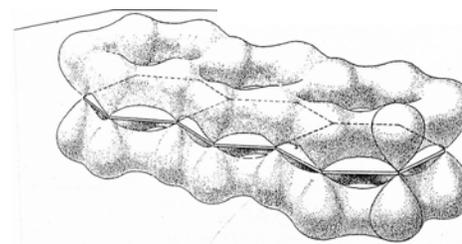
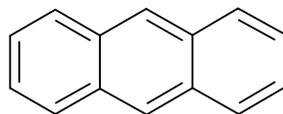


Politiocene

- Struttura planare
- Carbonio ibridizzato sp^2
- Legami σ nel piano e legami π fuori dal piano



.compartecipazione (delocalizzazione) degli elettroni π
.conduzione nel piano



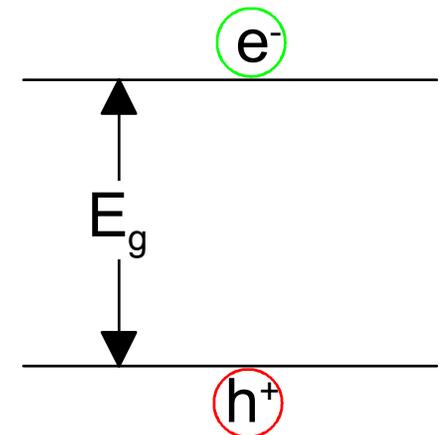
antracene



DELOCALIZZAZIONE e BAND-GAP

Nonostante siano diversi dai cristalli inorganici, i semiconduttori organici possono anch'essi essere rappresentati da:

- livelli energetici (banda di valenza e di conduzione) separati da un gap energetico
- 2 portatori di carica, elettroni e lacune



Di sicuro si applica ai cristalli organici



MOLTEPLICITA' DI PROTAGONISTI

Singole molecole ricche di legami π

deposte da fase vapore, struttura quasi **crystallina**, alta
mobilità dei portatori *pentacene*

Oligomeri coniugati

deposti da fase vapore o liquida, in alcuni casi
struttura policristallina *oligotiofeni*

Polimeri coniugati

deposti da fase liquida, **amorfi**, scarsa mobilità
PPP, PPV, poliacetilene

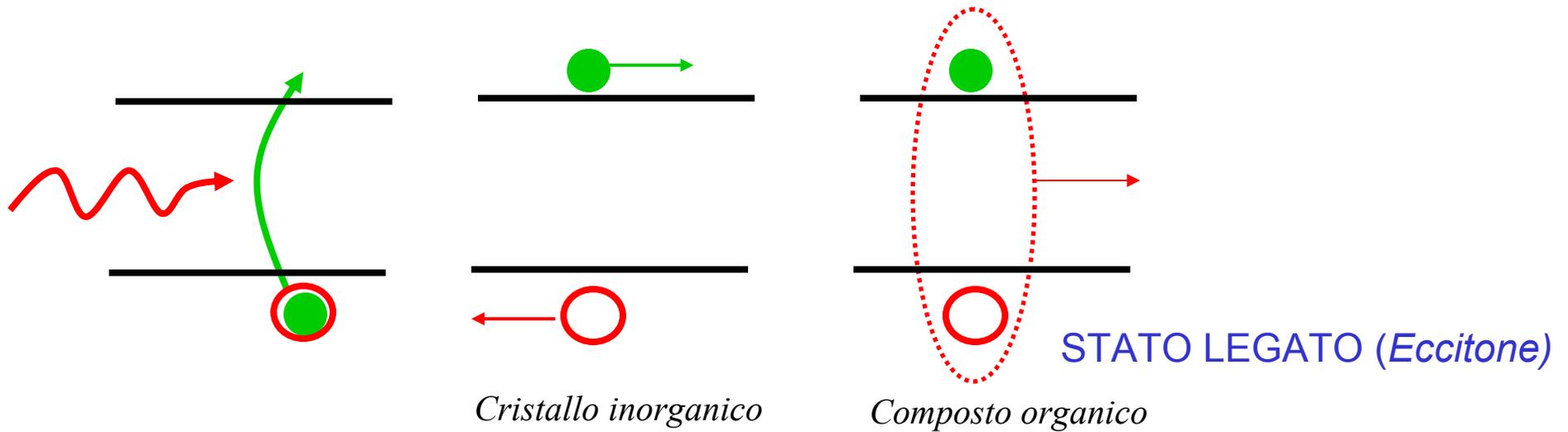


PERCHE' USARE SEMICONDUTTORI ORGANICI ?

- Flessibilità meccanica,
- possibilità di coprire grandi superfici,
- emissione di luce nel visibile (... schermi),
- proprietà modificabili per via chimica,
- facilità di deposizione virtualmente su ogni tipo di substrato, anche attivo,
- buon matching dell'indice di rifrazione aria-rivelatore



FOTOGENERAZIONE DI CARICA

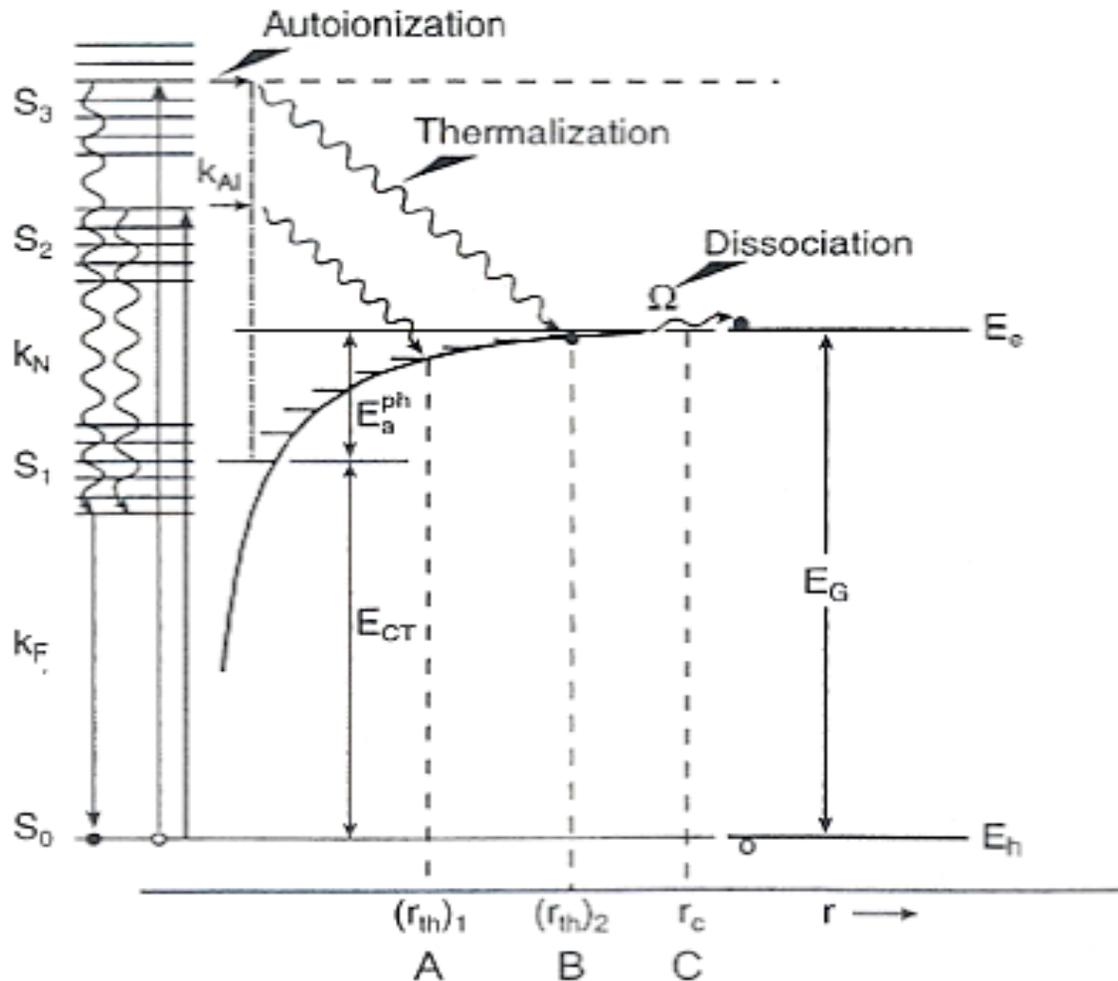


Perché nel Si non si parla di stato legato ?

Quale è l'energia dell'eccitone ?

Come si riesce a dissociarlo ?

FOTOGENERAZIONE DI CARICA

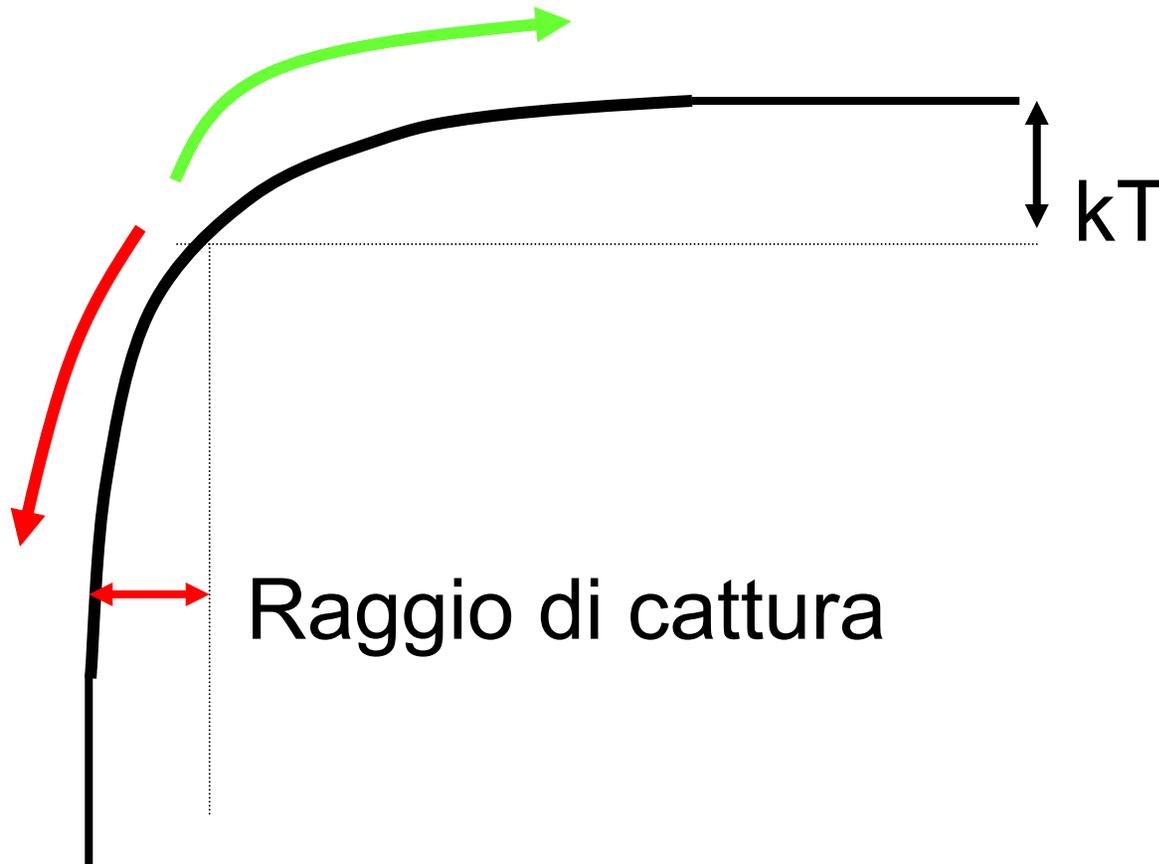


- Eccitazione stato neutro
- Autoionizzazione accoppiamento con livelli di trasporto
- Termalizzazione
- Dissociazione vs ricombinazione

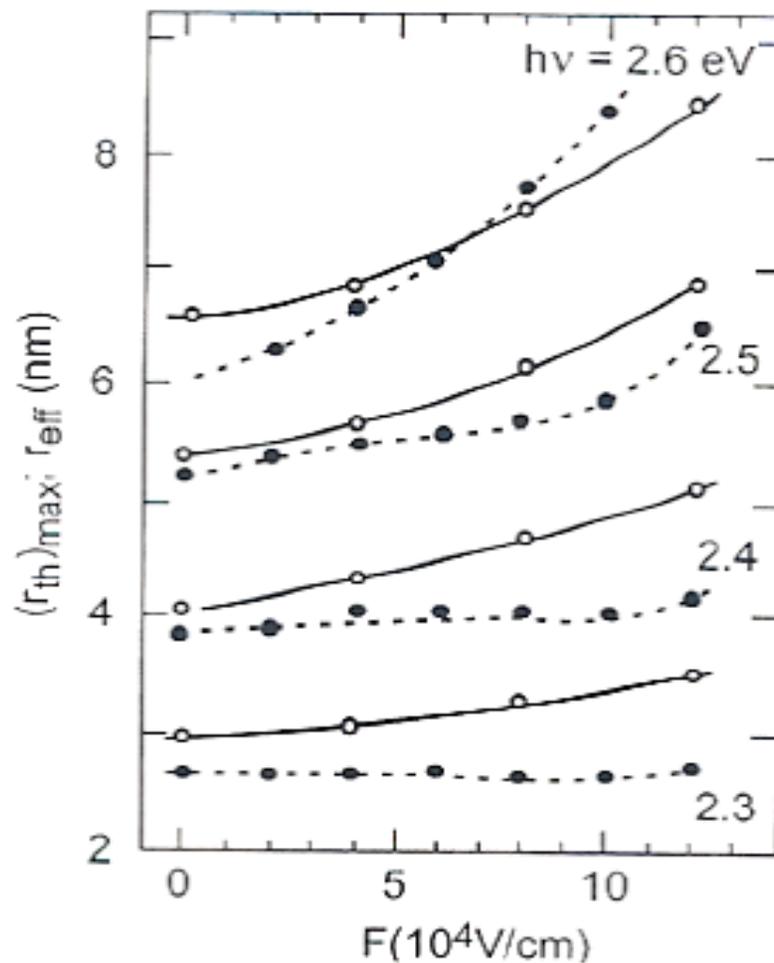
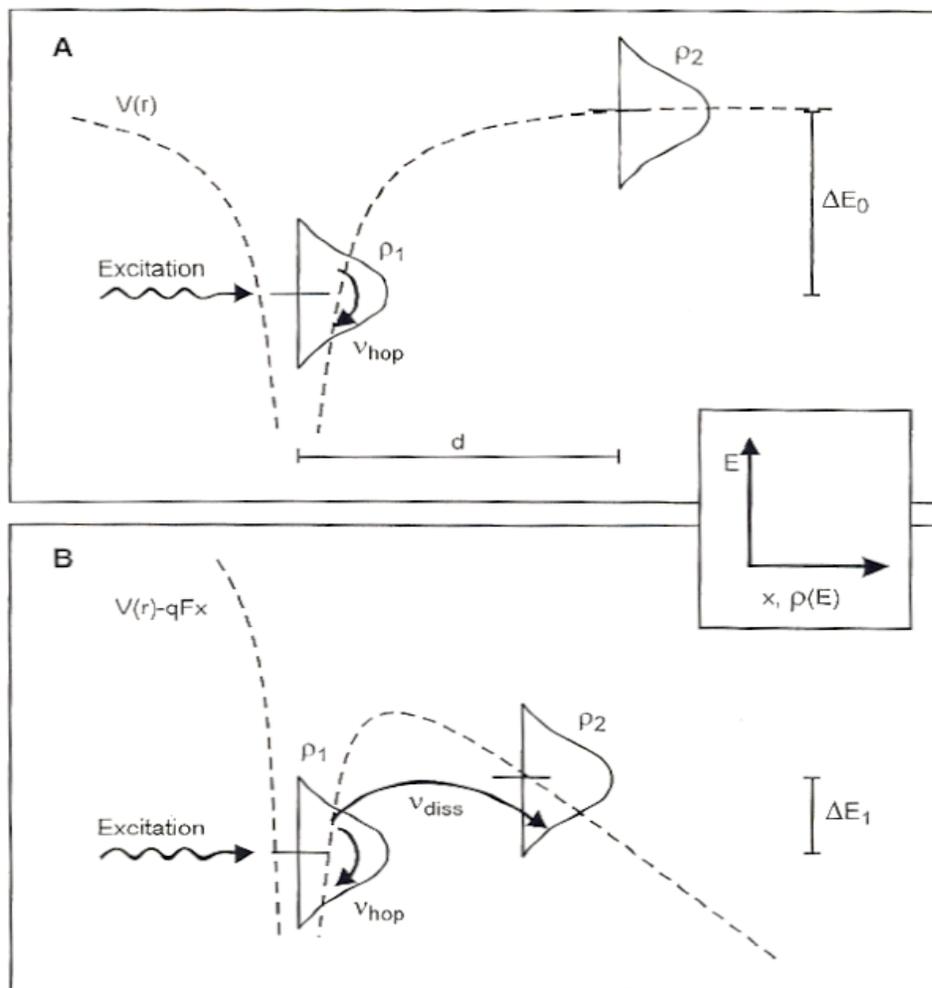


FOTOGENERAZIONE DI CARICA

Raggio di cattura vs Lunghezza di termalizzazione

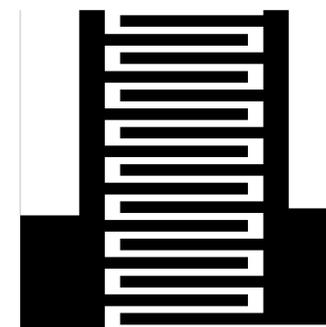
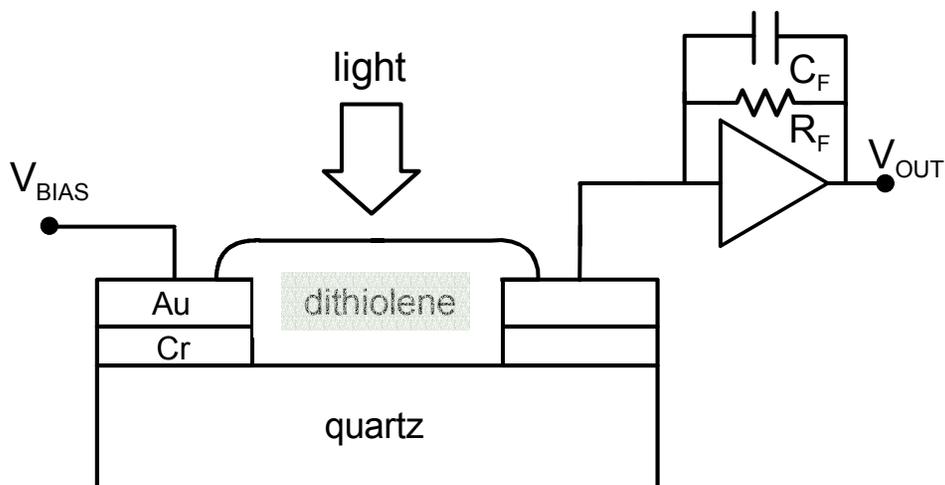


EFFETTO DEL CAMPO ELETTRICO



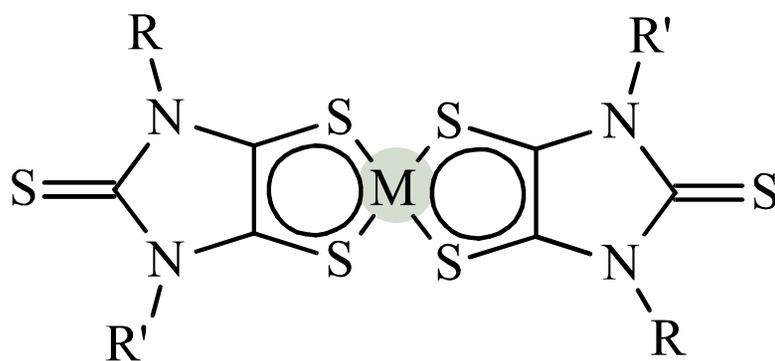


RIVELATORI per radiazione infrarossa I.R.



Layout

Ditioleni (Univ. di Cagliari)



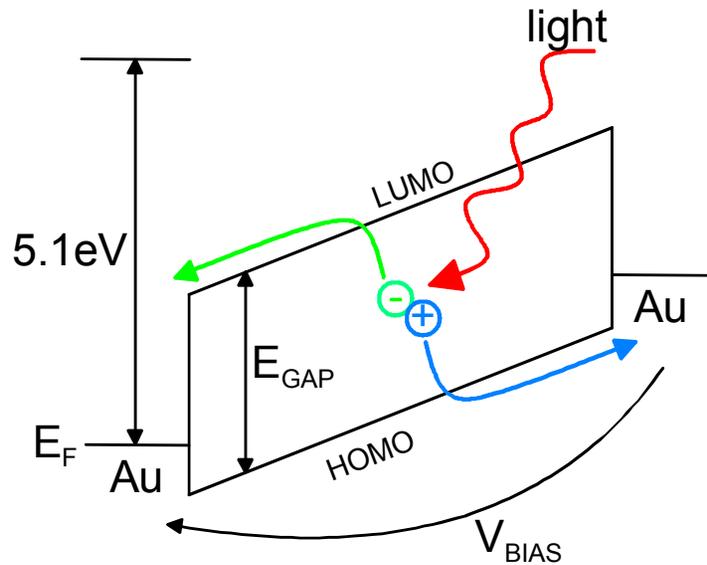
M: Pd, Ni, Pt

Grande stabilità termica e fotochimica

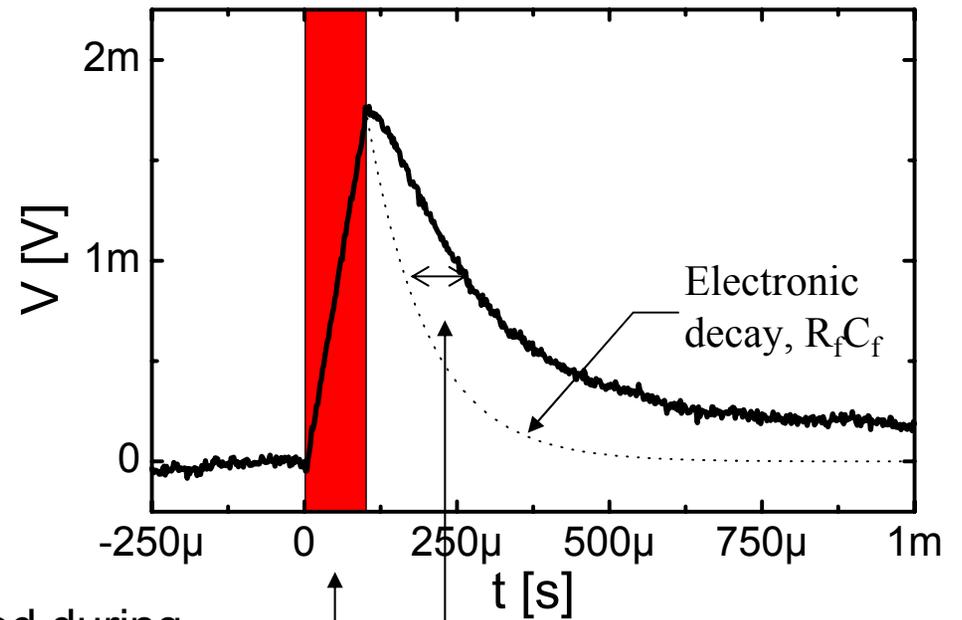
Ottima solubilità in solventi poco polari (cloroformio) → cast o spin coating

Solido amorfo con ridotta interazione tra le molecole

CHARGE COLLECTION



Charge amplifier output signal

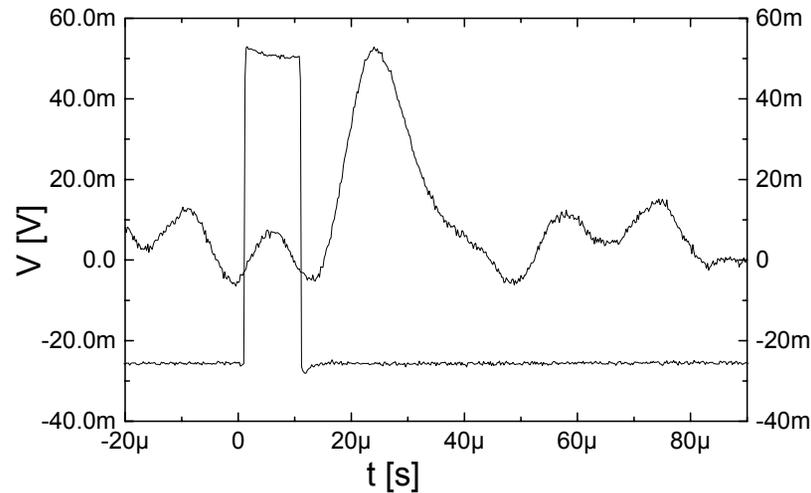


Charge integrated during light pulse.

“Delay” due to the collection of previously generated charges

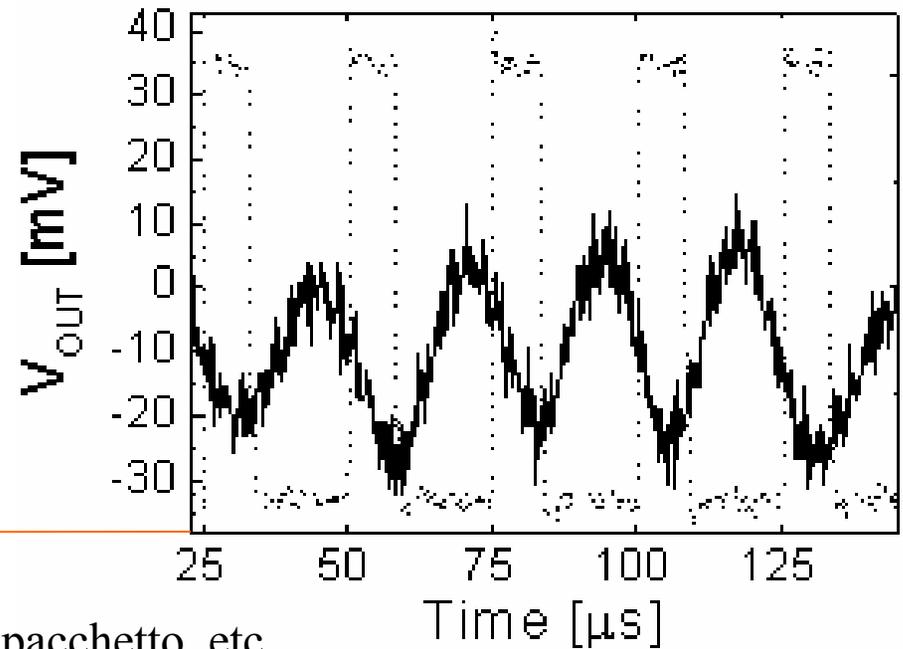


TIME RESPONSE



Pd-dithiolene, $3\mu m$, $\lambda=880nm$, $V_{DUT}=3V$

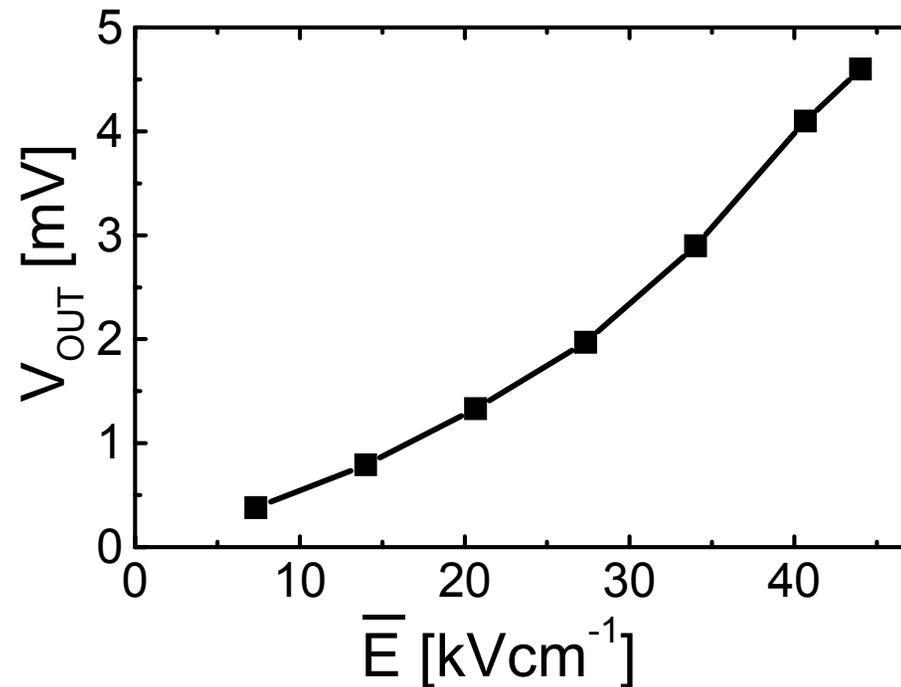
Bit-rate > 40 kbit/s



Applicazioni : network monitoring, controllo di pacchetto, etc.



EFFECT of ELECTRIC FIELD



Improvement in the collected charge (output voltage of the charge amplifier) as a function of the average electric field.

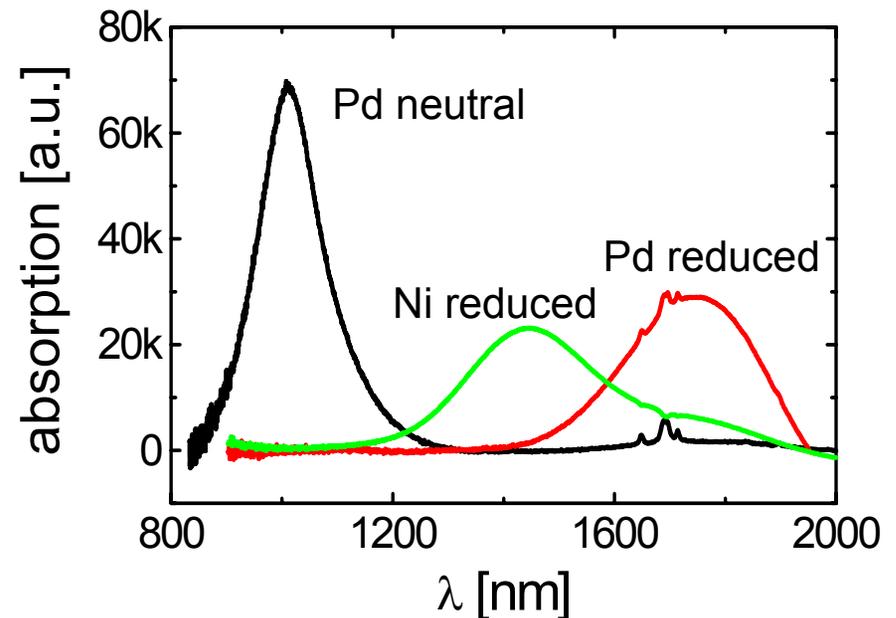


SVILUPPI 2003 - Rivelatori per I.R.

Il picco della risposta può essere spostato con modifiche della struttura chimica

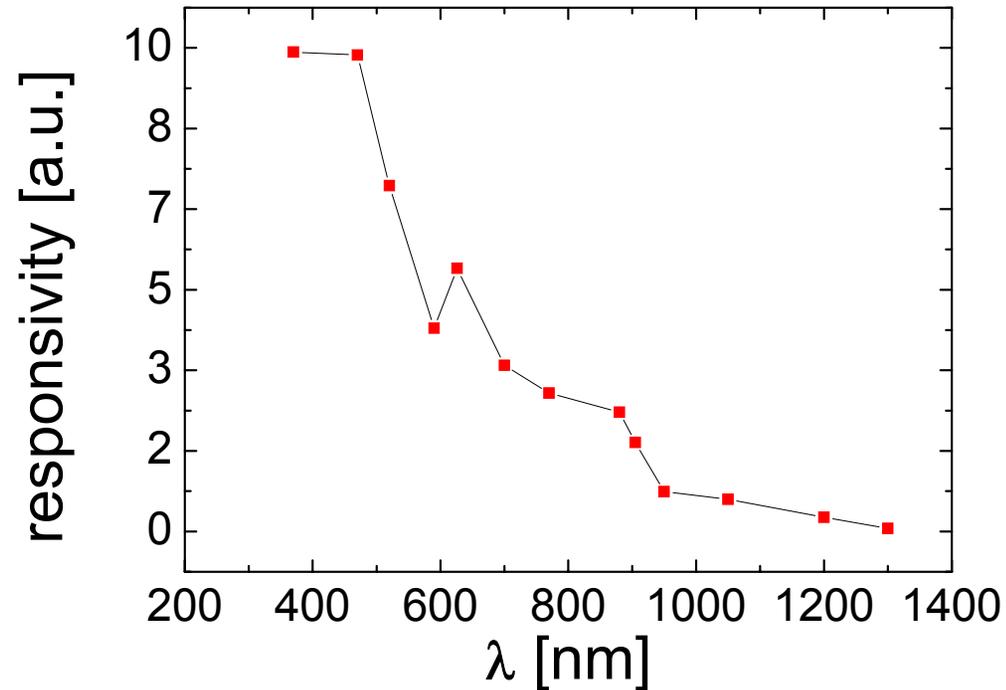
➔ **Tunable response**

(Matching con la 2° e 3° finestra delle fibre ottiche)



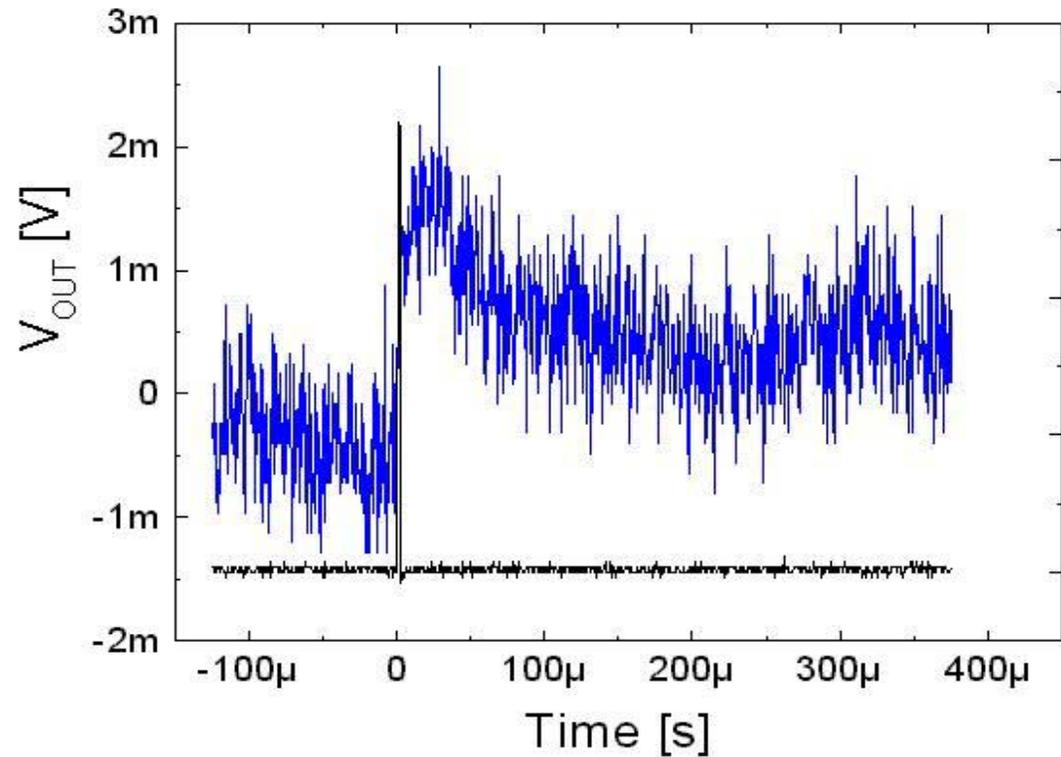
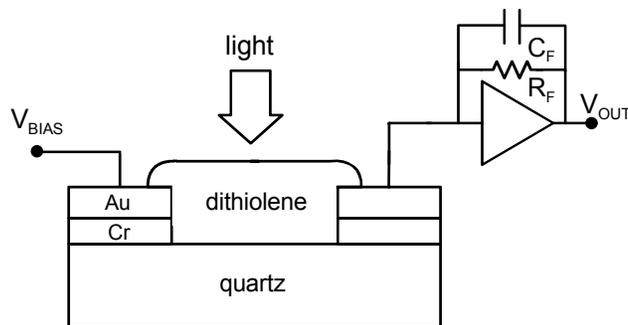


FOTORIVELAZIONE NEL VISIBILE



$\eta_{\max} = 0.01\%$, corresponding to $S = 40 \mu\text{A W}^{-1}$
@ 470nm, $V_{\text{BIAS}} = 88\text{V}$, $L = 12 \mu\text{m}$

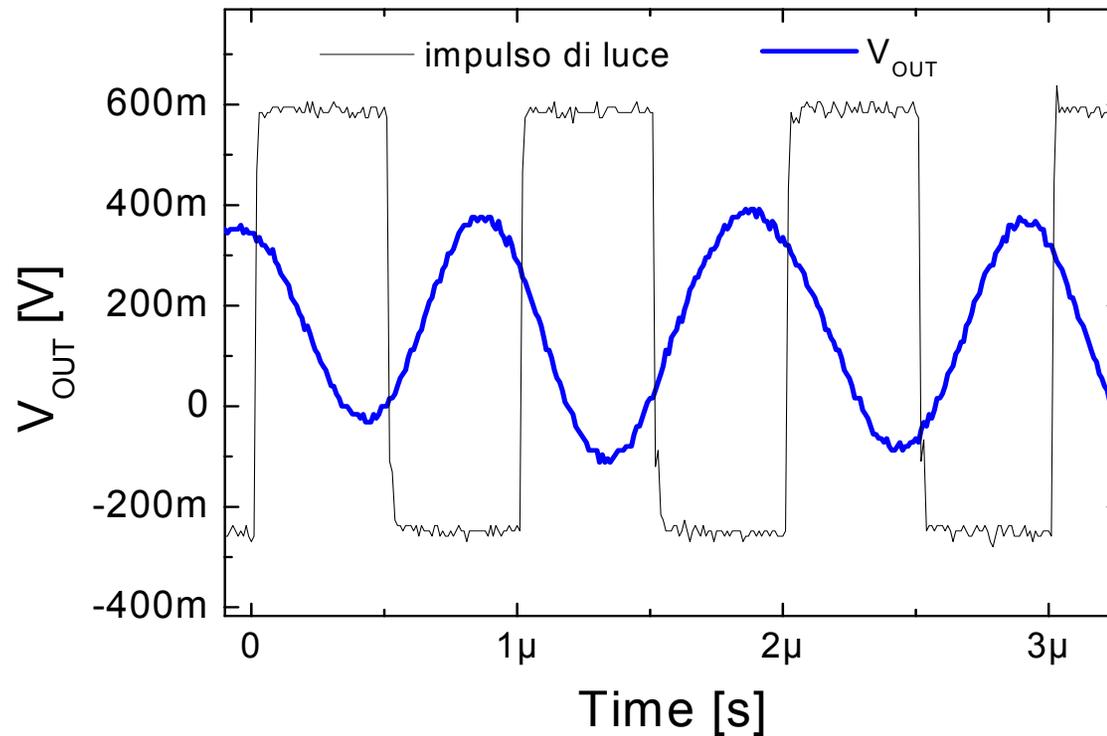
FOTORIVELAZIONE NEL VISIBILE



$2\mu\text{s}$ light pulse @ 470nm, $V_{\text{BIAS}}=70\text{V}$, $L=12\mu\text{m}$



FOTORIVELAZIONE NEL VISIBILE

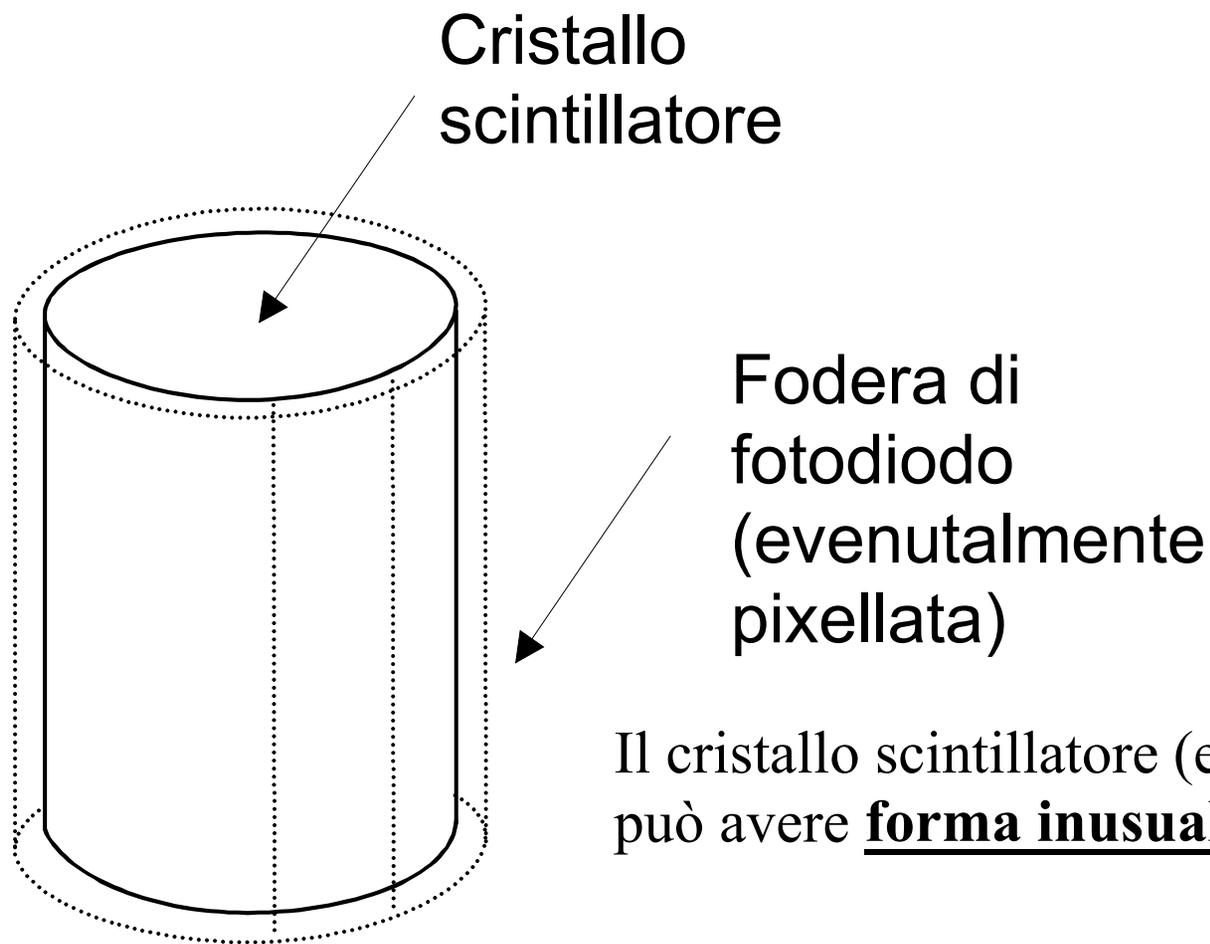


Shaping time
250ns

1MHz, duty cycle=50% @ 470nm, $V_{BIAS}=80V$, $L=12\mu m$



APPLICAZIONI con CRISTALLI SCINTILLATORI



Il cristallo scintillatore (e quindi il fotorivelatore) può avere **forma inusuale**.

La struttura a pixel permette di acquisire anche la **coordinata longitudinale di interazione**



EFFETTO DEL CONTATTO

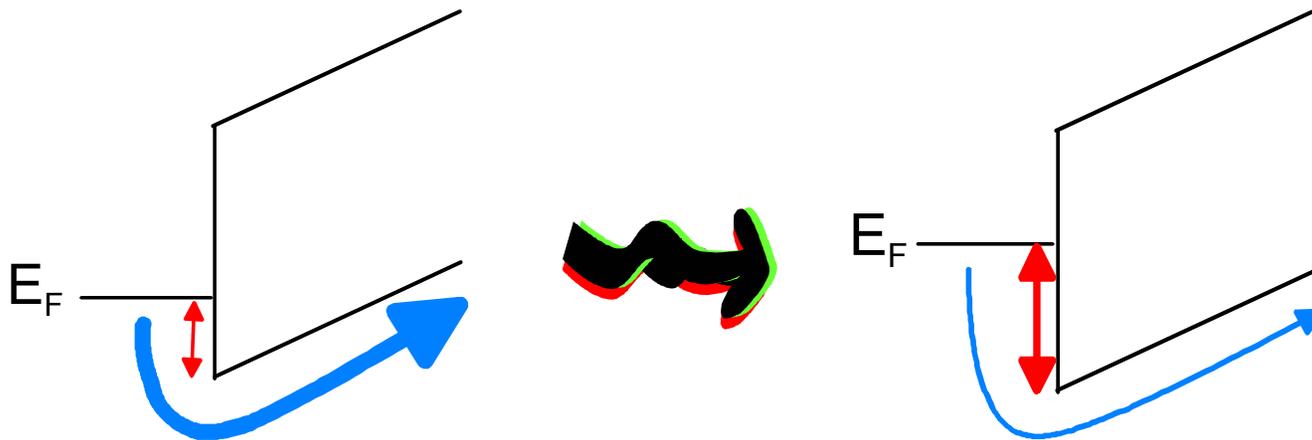
Elettrodi in **CROMO** invece che in oro (minore funzione lavoro) :

➔ **Riduzione della I_{leak} iniettata dai contatti**

➔ Minore rumore parallelo

➔ Possibilità di applicare campi elettrici maggiori

➔ Minori tempi di risposta

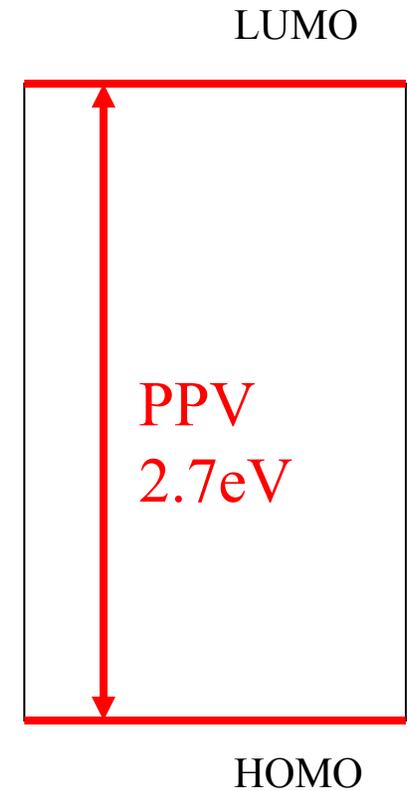
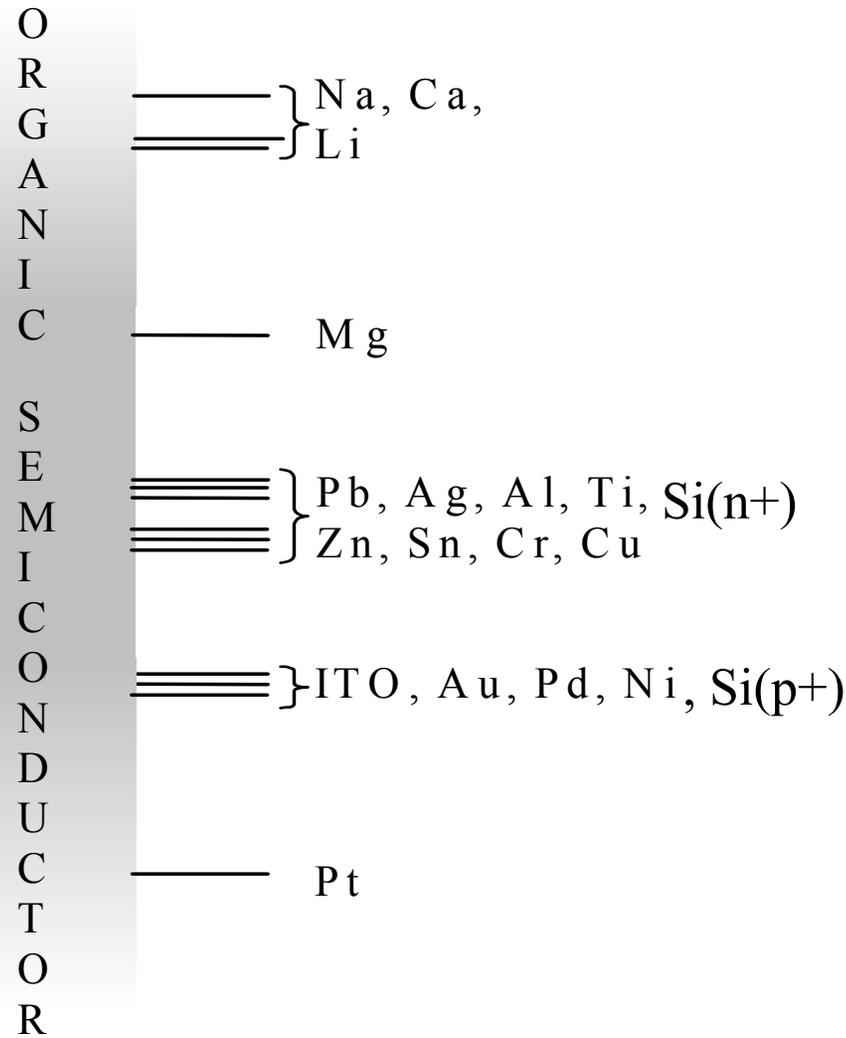




CHI DETERMINA IL TIPO DI PORTATORE ?

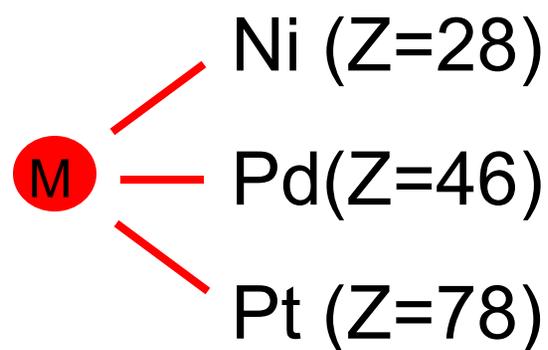
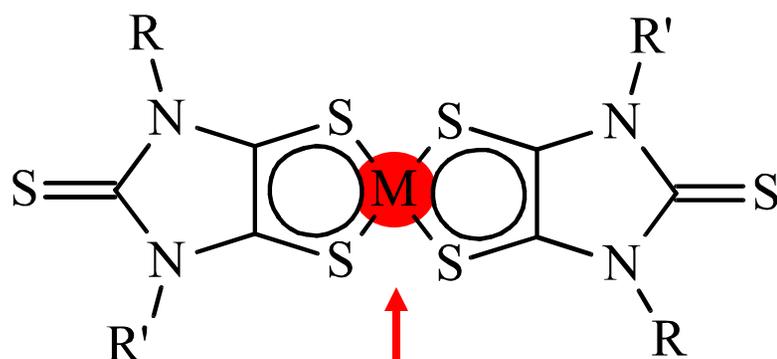
Contatti di Source e di Drain

K	2.30 eV
Na	2.75 eV
Ca	2.87 eV
Li	2.90 eV
Mg	3.70 eV
Pb	4.25 eV
Ag	4.26 eV
Al	4.28 eV
Ti	4.33 eV
Zn	4.35 eV
Sn	4.42 eV
Cr	4.50 eV
Cu	4.65 eV
ITO	4.70 eV
Au	5.10 eV
Pd	5.12 eV
Ni	5.15 eV
Pt	5.65 eV





ULTERIORI SVILUPPI



Sfruttare il metallo pesante per la rivelazione di RAGGI X



COLLABORAZIONI-RINGRAZIAMENTI

Politecnico di Milano

*Natali Dario, Caironi Mario, Ferrari Giorgio,
Franco Luigi*

Università di Cagliari, Dip. Chimica

*Devillanova Francesco, Arca Massimiliano,
Denotti Carla*

ISMAC-CNR (Milano)

*Bolognesi Alberto, Botta Chiara, Porzio William,
Destri Silvia*

INFN Progetto ODESSA