

---

# Theremino Particle Detector

---

Detector di Particelle basato su Webcam

---

Lodovico Lappetito

---

# Sommario

Introduzione .....	3
La Radioattività .....	3
Radioattività $\alpha$ .....	4
Radioattività $\beta$ .....	4
Radioattività $\gamma$ .....	4
La Webcam .....	5
Dati del Sensore CMOS.....	6
Hacking della Webcam .....	7
Theremino Particle Detector .....	9
Le Misure .....	11
Americio 241.....	12
Sorgente = Americio ( $^{241}\text{Am}$ ) $1\mu\text{Ci}$ .....	12
Cesio 137 .....	13
Sodio 22.....	14
Stronzio 90.....	15
Decadimento Torio.....	16
Decadimento Uranio .....	16
Torio.....	17
Uranio - Uraninite.....	18
Uranio – FiestaWare .....	19
Radio.....	20
Raggi Cosmici.....	21
Cascate Elettromagnetiche.....	22
Raggi X .....	23
Conclusioni .....	24

## Introduzione

Lo scopo di questo documento è quello di descrivere l'utilizzo di una webcam commerciale come rivelatore di **particelle**. Mostreremo che, a partire da una comunissima Webcam, è possibile realizzare un rivelatore "low cost" in grado di rilevare **particelle beta, radiazioni gamma e raggi cosmici**. L'apparecchio può essere utilizzato per effettuare interessanti esperimenti sulla radioattività ed effettuare misure di carattere qualitativo su sorgenti radioattive.

## La Radioattività

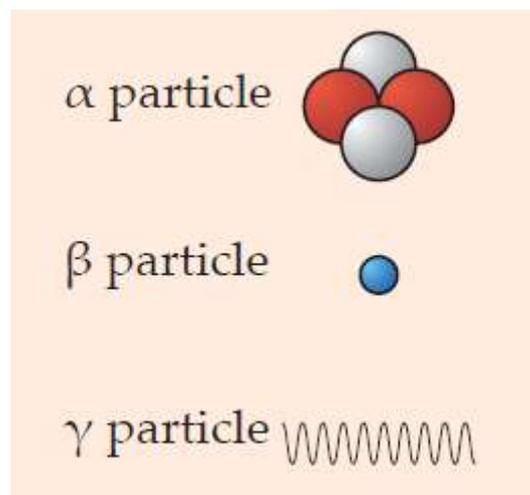
La radioattività è il fenomeno per cui alcuni nuclei, non stabili, si trasformano in altri emettendo particelle. La radioattività non è stata inventata dall'uomo, anzi, al contrario, l'uomo è esposto alla radioattività fin dal momento della sua apparizione sulla Terra. La radioattività è antica quanto l'Universo ed è presente ovunque: nelle Stelle, nella Terra e nei nostri stessi corpi.

Gli isotopi presenti in natura sono quasi tutti stabili. Tuttavia, alcuni isotopi naturali, e quasi tutti gli isotopi artificiali, presentano nuclei instabili, a causa di un eccesso di protoni e/o di neutroni. Tale instabilità provoca la trasformazione spontanea in altri isotopi, e questa trasformazione si accompagna con l'emissione di particelle. Questi isotopi sono detti isotopi radioattivi, o anche radioisotopi, o anche radionuclidi.

La trasformazione di un atomo radioattivo porta alla produzione di un altro atomo, che può essere anch'esso radioattivo oppure stabile. Essa è chiamata disintegrazione o decadimento radioattivo.

Il tempo medio che occorre aspettare per avere tale trasformazione può essere estremamente breve o estremamente lungo. Esso viene detto "vita media" del radioisotopo e può variare da frazioni di secondo a miliardi di anni (per esempio, il potassio-40 ha una vita media di 1.8 miliardi di anni). Un altro tempo caratteristico di un radioisotopo è il "tempo di dimezzamento", ovvero il tempo necessario affinché la metà degli atomi radioattivi inizialmente presenti subisca una trasformazione spontanea.

Esistono tre diversi tipi di decadimenti radioattivi, che si differenziano dal tipo di particella emessa a seguito del decadimento : si tratta delle **particelle Alfa, delle particelle Beta e della radiazione Gamma**.



## Radioattività $\alpha$

Le **particelle alfa**, **raggi alfa** o **elioni** sono una forma di radiazione corpuscolare altamente ionizzante e con un basso potere di penetrazione dovuto all'elevata sezione d'urto. Consistono di due protoni e due neutroni legati insieme dalla forza forte, si tratta quindi di nuclei  $4\text{He}$ . Da un punto di vista chimico possono anche essere identificati con il simbolo  $4\text{He}^{++}$ . Il decadimento beta è mediato dalla forza debole, mentre il **decadimento alfa** è mediato dalla **forza forte**.

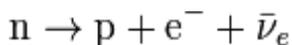
Le particelle alfa sono tipicamente emesse da nuclidi radioattivi degli elementi pesanti, per esempio dagli isotopi dell'uranio, del torio, del radio, ecc., in un processo denominato decadimento alfa. A volte questo decadimento lascia i nuclei in uno stato eccitato, e conseguentemente l'eccesso di energia può essere rimosso con l'emissione di raggi gamma.

I raggi alfa, a causa della loro carica elettrica, interagiscono fortemente con la materia e quindi vengono facilmente assorbiti dai materiali e possono viaggiare solo per pochi centimetri nell'aria.

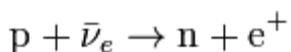
## Radioattività $\beta$

La **radiazione beta** è una forma di radiazione ionizzante emessa da alcuni tipi di nuclei radioattivi. Questa radiazione assume la forma di **particelle beta** ( $\beta$ ), che sono **elettroni** o **positroni** ad alta energia, espulsi da un nucleo atomico in un processo conosciuto come **decadimento beta**. Esistono due forme di decadimento beta,  $\beta^-$  e  $\beta^+$ , che emettono rispettivamente un elettrone o un positrone.

Nel decadimento  $\beta^-$ , un neutrone viene convertito in un protone, un elettrone e un antineutrino elettronico (l'antiparticella del neutrino):



Nel decadimento  $\beta^+$  (osservabile in nuclei ricchi di protoni), un protone interagisce con un antineutrino elettronico per dare un neutrone e un positrone (il decadimento diretto del protone in positrone non è stato ancora osservato):



A causa della presenza del neutrino, l'atomo e la particella beta normalmente non rinvoltano in direzioni opposte. Il decadimento beta è mediato dalla forza nucleare debole.

L'interazione delle particelle beta con la materia ha generalmente un raggio d'azione dieci volte superiore, e un potere ionizzante pari a un decimo rispetto all'interazione delle particelle alfa. Vengono bloccate completamente da pochi millimetri di alluminio.

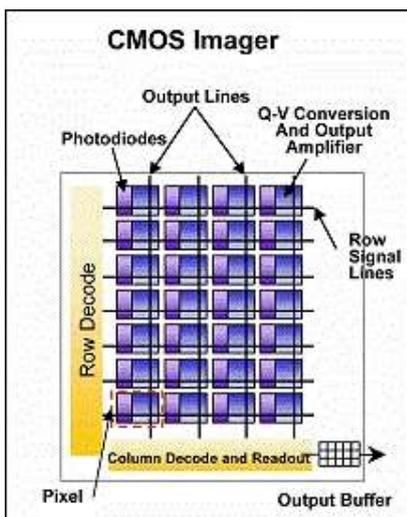
## Radioattività $\gamma$

In fisica nucleare i **raggi gamma** (spesso indicati con la corrispondente lettera greca minuscola  $\gamma$ ) sono una forma di radiazione elettromagnetica ad alta energia, prodotta dal decadimento gamma o da processi subatomici. I raggi gamma sono più penetranti della radiazione particellare prodotta dalle altre forme di decadimento, ovvero decadimento alfa e decadimento beta, a causa della minor tendenza ad interagire con la materia essendo essi fotoni, ma meno ionizzanti.

I raggi gamma si distinguono dai raggi X per la loro origine: i gamma sono prodotti da transizioni nucleari o comunque subatomiche, mentre gli X sono prodotti da transizioni energetiche dovute ad elettroni in rapido spostamento sui loro livelli energetici quantizzati. Poiché è possibile per alcune transizioni elettroniche superare le energie di alcune transizioni nucleari, i Raggi x più energetici si sovrappongono ai raggi gamma più deboli.

## La Webcam

La Webcam utilizzata è il modello C270 della Logitech, facilmente reperibile in un qualsiasi negozio di informatica oppure in rete (eBay, Amazon) per qualche decina di euro. Per l'utilizzo come particle detector, la webcam va modificata. Con un po' di attenzione è possibile effettuare le modifiche in modo reversibile e quindi in caso ripristinare le funzionalità originali.



All'interno della webcam è presente il sensore CMOS che è l'elemento sensibile alla luce. Il sensore CMOS è in pratica costituito da una matrice di pixel. Ogni pixel comprende un **fotodiodo** ed un circuito di conversione / amplificazione che converte la carica originata nel fotodiodo in una tensione che viene letta, pixel per pixel, e successivamente digitalizzata in un **valore numerico che va da 0 a 255**. Sopra ogni pixel viene posizionato un minuscolo filtro colorato (rosso, verde e blu) in modo da selezionare il colore, ottenendo così un "mosaico" di pixel colorati, successivamente l'immagine va elaborata in maniera opportuna (interpolazione) per ricostruire l'immagine originale.

L'elemento attivo, sensibile alle particelle, è il fotodiode, schematizzato nella figura sotto.

La particella ionizzante entra nell'area sensibile dalla finestra "superiore" e produce, nel suo passaggio svariate centinaia di coppie elettrone/lacuna che vengono raccolte dal catodo / anodo del diode e producono il segnale che viene successivamente digitalizzato.

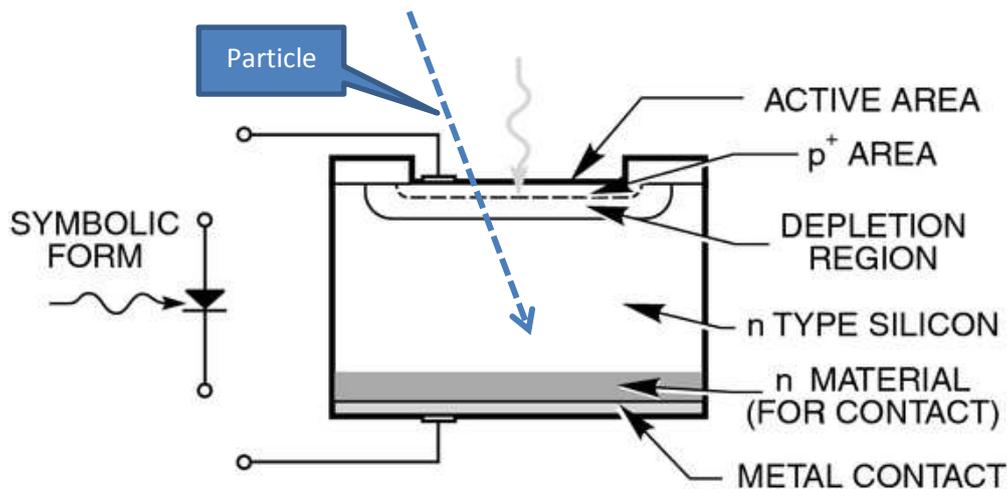
Diamo alcuni dati ricavati dalla letteratura sui sensori a stato solido:

**Silicio Band Gap = 1,115 eV**

**Energia per la produzione di una coppia e/h (300°K) = 3,62 eV**

**Potere di ionizzazione di un elettrone = 80 e/μm**

Come si può vedere dai dati sopra riportati, un elettrone che percorre 10 μm produce circa 1000 portatori di carica e quindi un segnale facilmente rilevabile, considerato anche che l'elettronica di rilevazione è locale sul chip.



Naturalmente il sensore CMOS non è ottimizzato per la rilevazione delle particelle e quindi l'efficienza di rilevazione è piuttosto bassa, soprattutto a causa del fatto che la regione attiva che è quella di svuotamento a cavallo della giunzione è molto sottile. Inoltre le **particelle alfa non vengono rilevate** perché il sensore è protetto da uno strato di vetro (o altro materiale trasparente) che blocca completamente le particelle alfa.

**Le particelle beta vengono in parte assorbite dalle protezioni superficiali ma una elevata percentuale riesce comunque a raggiungere la parte sensibile e viene rilevata.** I raggi cosmici, che sono muoni ad elevata energia, vengono rilevati con alta efficienza. **Per la radiazione gamma invece la sensibilità è piuttosto bassa** e sembra essere maggiore alle basse energie, questo è anche dovuto al piccolo spessore della regione sensibile del sensore CMOS.

## Dati del Sensore CMOS

Il sensore CMOS montato sulla Logitech C270 è caratterizzato dai seguenti dati :

**Risoluzione Sensore = 1280 x 960**

**Dimensione Pixel = 2,8 μm x 2,8 μm**

**Dimensione Sensore = 3,5 mm x 2,7 mm**

**Superficie Sensore = 9,45 mm<sup>2</sup>**

**Risoluzione Immagine = 640 x 480**

**Dimensione Pixel Immagine = 5,6 μm x 5,6 μm**



Per evitare che il sensore CMOS venga raggiunto dalla luce ambientale è necessario schermarlo adeguatamente con un foglio di alluminio adesivo, come mostrato nella figura sotto.

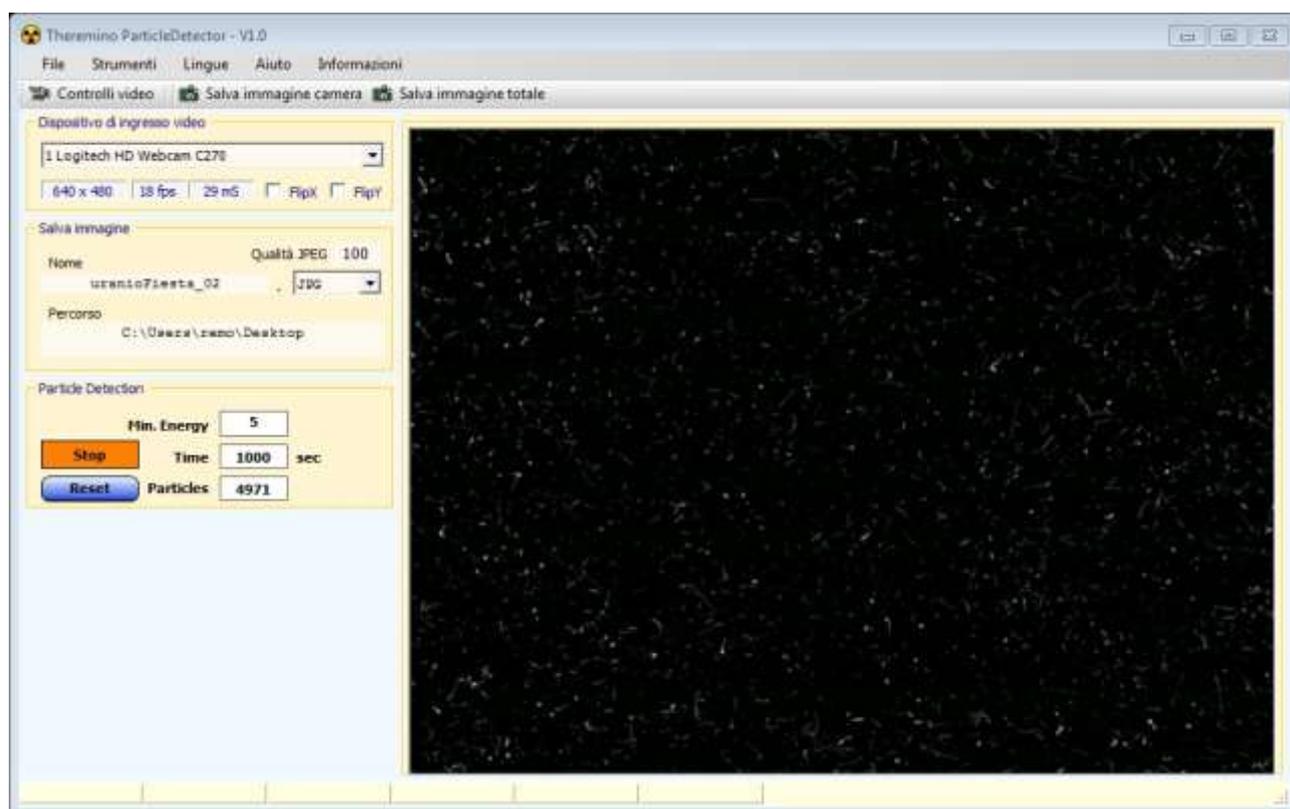


Alla fine la webcam può essere rimontata utilizzando i coperchi smontati in precedenza.



## Theremino Particle Detector

Per acquisire le immagine registrate dalla Webcam è stato realizzato il software **Theremino ParticleDetector**. Questo software effettua semplicemente **l'integrazione delle immagini** in modo da realizzare una sorta di **"lunga esposizione"**. In questo modo le tracce delle particelle non vengono cancellate ad ogni ciclo di acquisizione ma si accumulano frame dopo frame. Nella immagine sotto si riporta un esempio di registrazione.



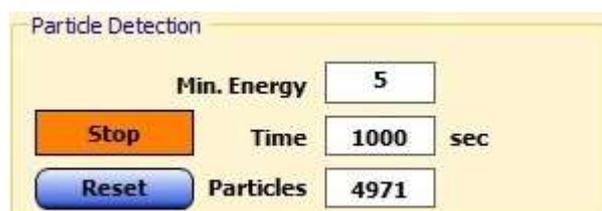
L'applicazione da la possibilità di settare **l'energia minima di rilevazione (0 - 255)** in modo da escludere dalla rilevazione eventi spuri dovuti al rumore del sensore CMOS.

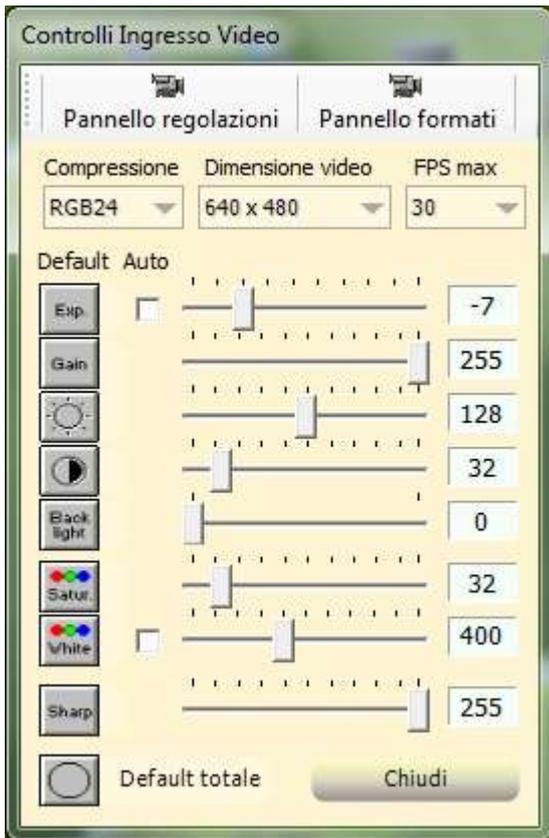
Con il comando di **START / STOP** si avvia e si ferma la registrazione dei frame ed il conteggio degli eventi.

Con il comando **RESET** si azzerà il tempo di integrazione ed il contatore di eventi.

**Durante la registrazione dei frame gli eventi causati dalla rilevazione di una particella vengono conteggiati e mostrati nella casella "Particles", ed il tempo totale di registrazione viene mostrato nella casella "Time".**

**Facendo il rapporto fra questi due valori si ottiene la quantità "Counts per Seconds", ovvero i CPS.**

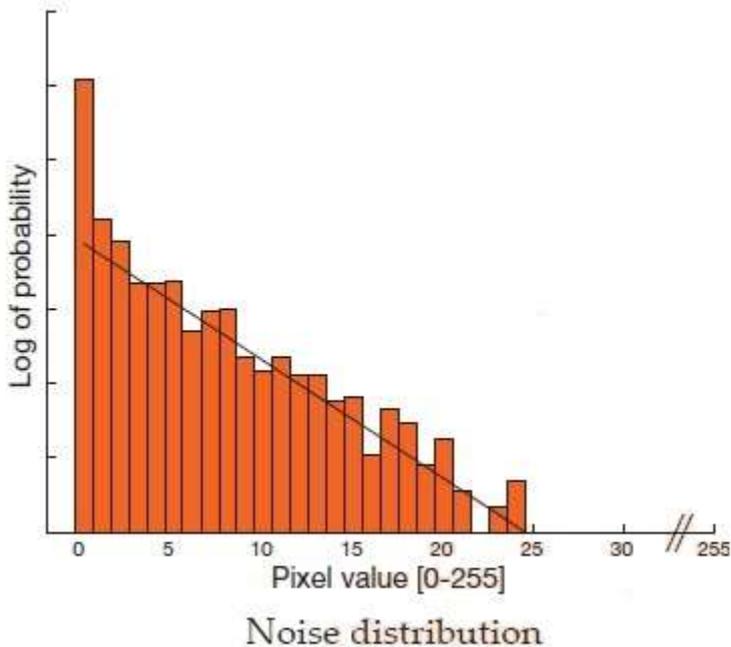




Per ottenere i migliori risultati consigliamo di far lavorare la Webcam con i parametri mostrati nella immagine a sinistra. In particolare sono importanti i seguenti parametri :

**Risoluzione = 640 x 480**  
**Exposure = -7 (corrispondente a 1/10 s)**  
**Gain = 255**  
**Sharp = 255**

Va inoltre regolato anche il parametro di "energia minima", utilizzato per escludere dalla rilevazioni gli eventi dovuti al rumore del sensore CMOS. Da studi presenti in letteratura la distribuzione del rumore ha un andamento esponenziale, come si vede nel grafico semilogaritmico presentato sotto. Settando questa soglia a valori compresi tra 5 e 20 si elimina la maggior parte del rumore.



## Le Misure

Le misure sono state fatte collocando la sorgente a stretto contatto con la Webcam, la figura sotto presenta il tipico setup utilizzato.



Sono state effettuate misurazioni sulle sorgenti più comuni :

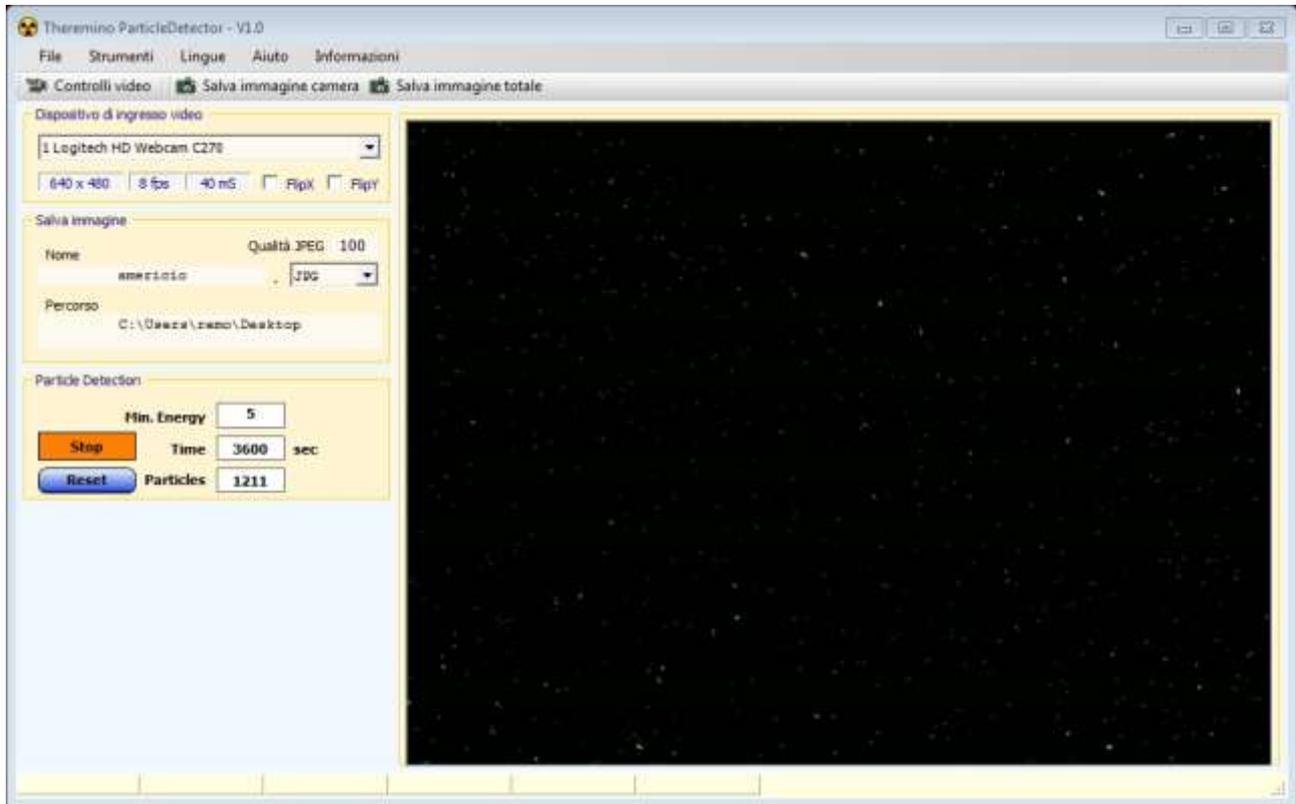
- Reticella toriata
- Ceramiche con smalto all'uranio
- Lancette con vernice al radio
- Uraninite
- Isotopo Americio 241 da sensore di fumo
- Isotopo Cesio 137 – quantitativo esente da licenza
- Isotopo Sodio 22 - quantitativo esente da licenza
- Isotopo Stronzio 90 - quantitativo esente da licenza

Torio  
Uranio  
Radio



## Americio 241

L'**americium** è l'elemento chimico di numero atomico 95. Il suo simbolo è **Am**. L'americium è un elemento metallico sintetico della famiglia degli attinidi, ottenuto bombardando il plutonio con neutroni. Decade **Alfa** in Nettunio-237 con una vita media di circa 400 anni, nel suo decadimento emette anche **radiazione gamma** a **59keV** e a circa **26keV**.



Sorgente = Americio ( $^{241}\text{Am}$ )  $1\mu\text{Ci}$

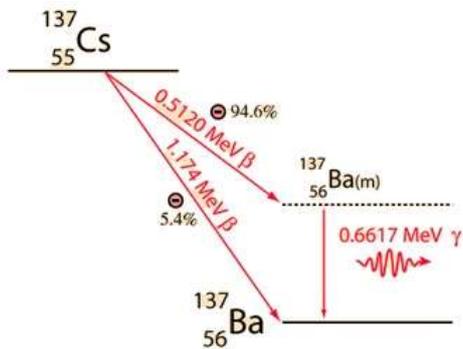
Time = 3600s

Particles = 1211

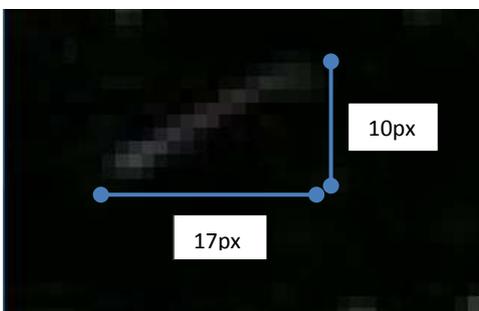
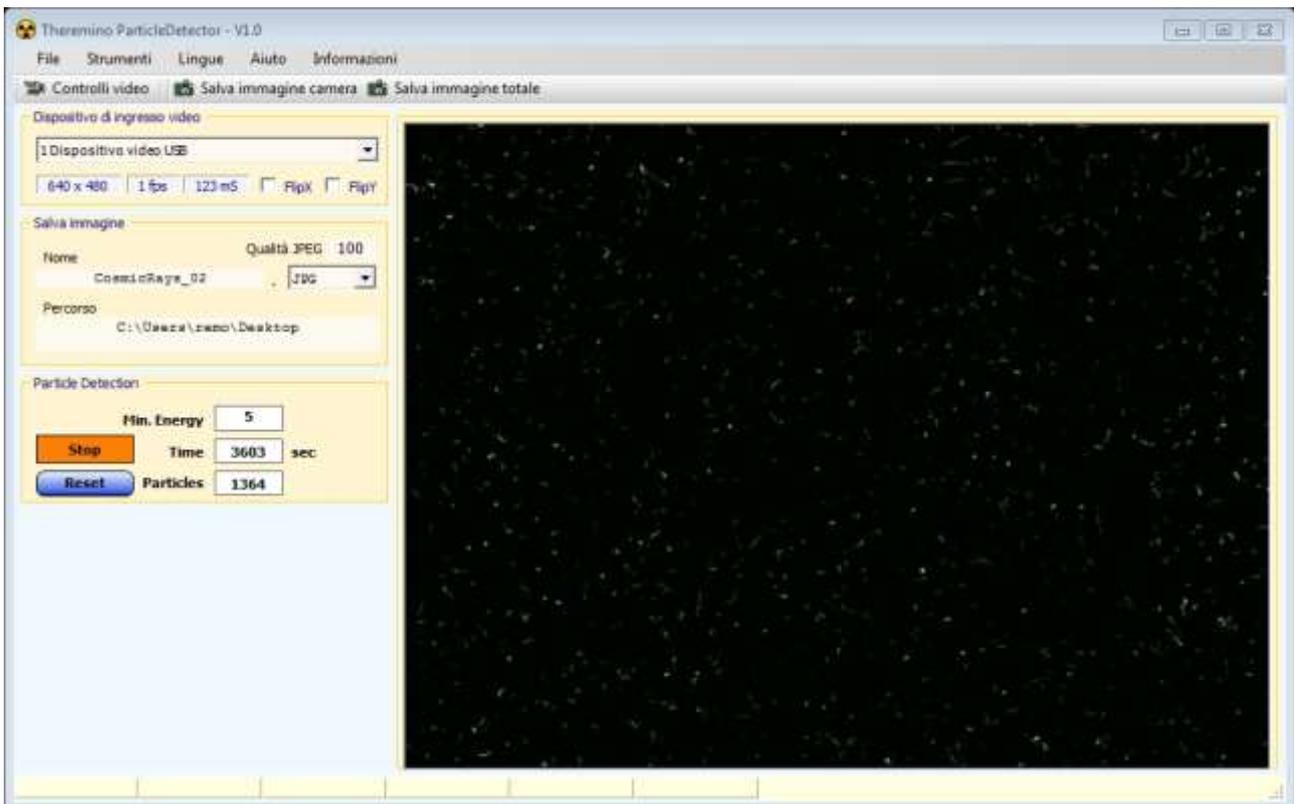
CPS = 0,336

Il sensore CMOS non rileva le particella alfa, quindi i punti che si vedono nella immagine sono dovuti ai raggi gamma emessi dalla sorgente di americio da  $1\mu\text{Ci}$  oppure dagli elettroni secondari.

## Cesio 137



**Cesio-137** è un isotopo radioattivo del cesio che si forma come uno dei più comuni prodotti di fissione dalla fissione nucleare dell' uranio-235. Decade Beta nel Bario con una vita media di circa 30 anni. Gli elettroni vengono emessi con una energia massima di **512keV per il 94%** e di **1,174MeV per il 5,4%**, vi è poi un fotone gamma a 662keV.



**Sorgente = Cesio ( $^{137}\text{Cs}$ ) 0,25 $\mu\text{Ci}$**

**Time = 3600s**

**Particles = 1364**

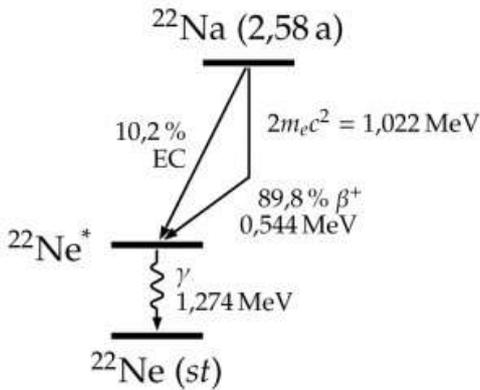
**CPS = 0,379**

**Lunghezza Traccia = 20px \* 6 $\mu\text{m}$  = 120  $\mu\text{m}$**

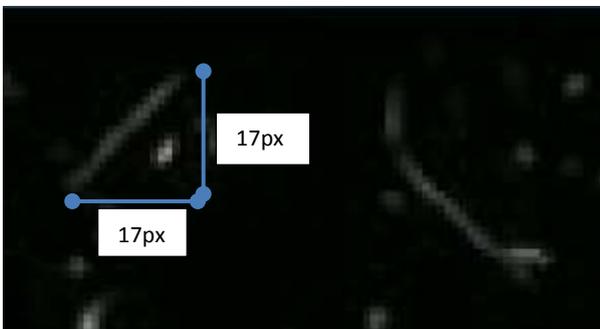
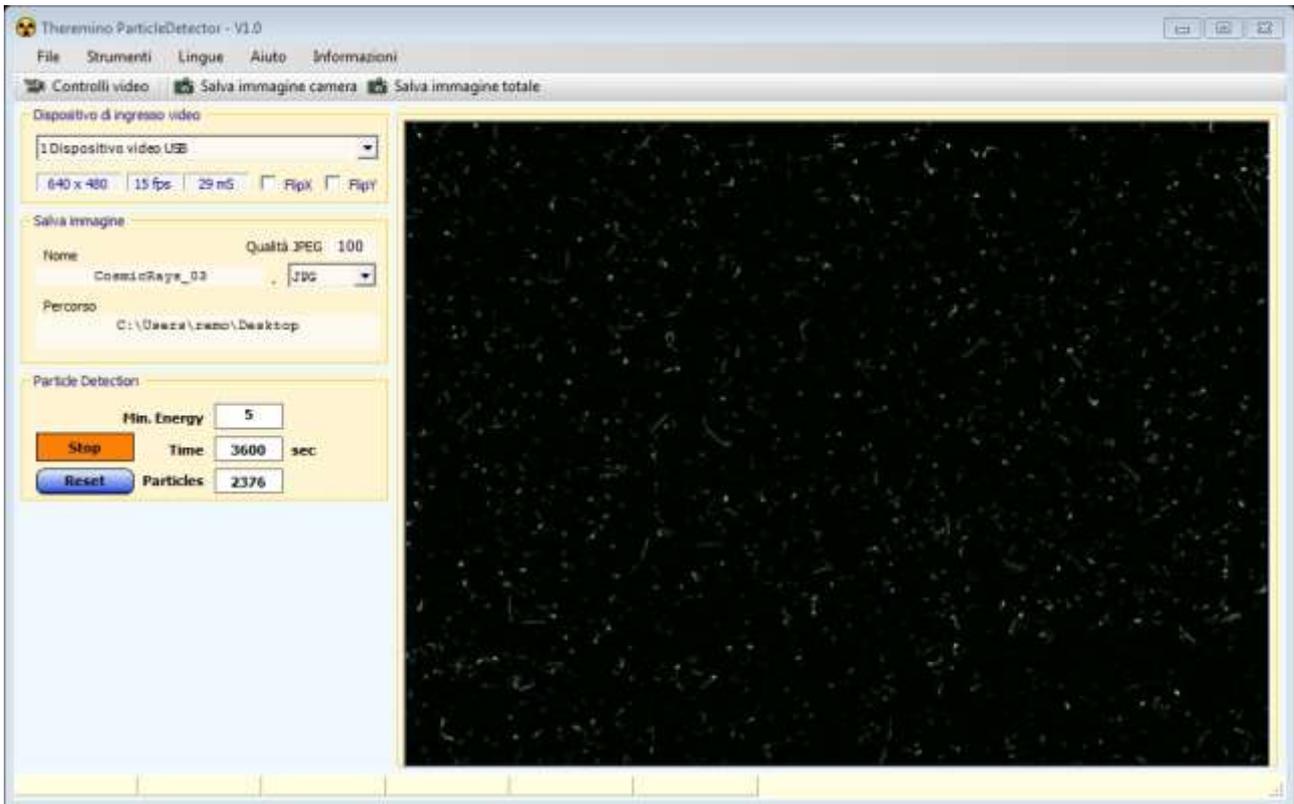
Il sensore CMOS rileva principalmente la radiazione beta emessa dalla sorgente di Cesio.

Nella figura a lato si vede l'immagine ingrandita della traccia di un elettrone.

## Sodio 22



L'isotopo **Na-22** decade (nel 99.95% dei casi) con emivita di 2,6 anni, per emissione di positroni o cattura elettronica verso il primo stato eccitato del  $^{22}\text{Ne}$  a **1.274MeV** (il quale successivamente si rilassa per emissione di fotone gamma). **I positroni emessi dalla sorgente hanno energia massima di 544keV e quando si annichilano producono due fotoni gamma da 511keV.**



**Sorgente = Sodio ( $^{22}\text{Na}$ ) 1 $\mu\text{Ci}$**

**Time = 3600s**

**Particles = 2376**

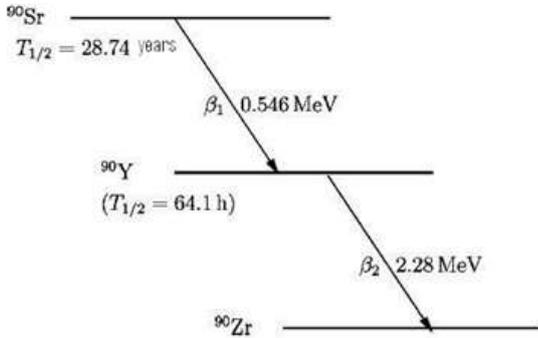
**CPS = 0,66**

**Lunghezza Traccia = 24px \* 6 $\mu\text{m}$  = 144  $\mu\text{m}$**

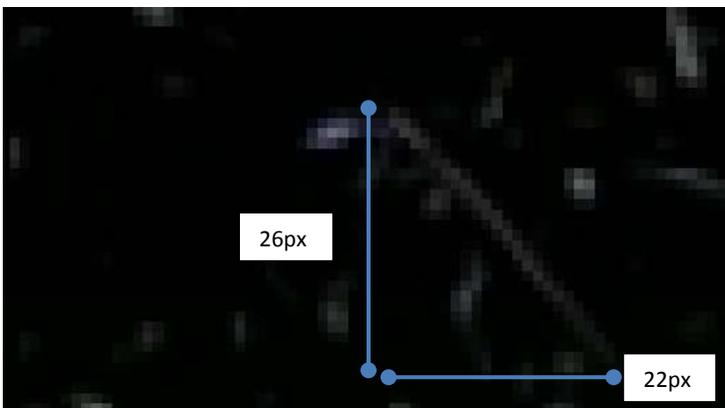
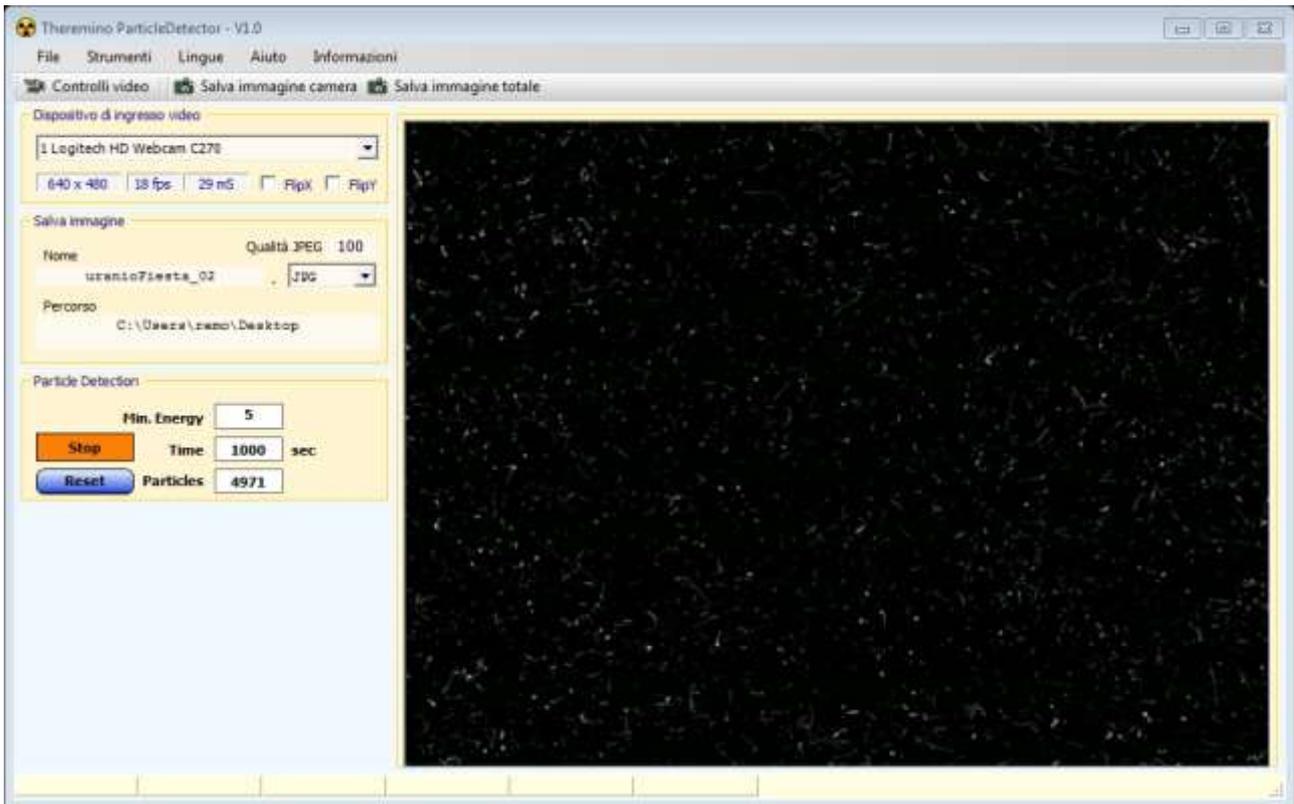
Il sensore CMOS rileva principalmente la radiazione beta (positroni) emessa dalla sorgente di Sodio.

Nella figura a lato si vede l'immagine ingrandita della traccia di un positrone.

## Stronzio 90



Lo **Stronzio-90** è un isotopo dello stronzio prodotto dalla fissione nucleare dell'uranio, avente un'emivita radioattiva di 28,8 anni. Va incontro a decadimento  $\beta^-$  trasformandosi in ittrio-90, con un'energia di decadimento di 0,546 MeV. **Il decadimento beta dello stronzio 90 da luogo alla emissione di particelle beta con energia massima di 0,546MeV e di 2,28Mev.**



**Sorgente = Stronzio ( $^{90}\text{Sr}$ ) 0,1 $\mu\text{Ci}$**

**Time = 3600s**

**Particles = 4971**

**CPS = 1,38**

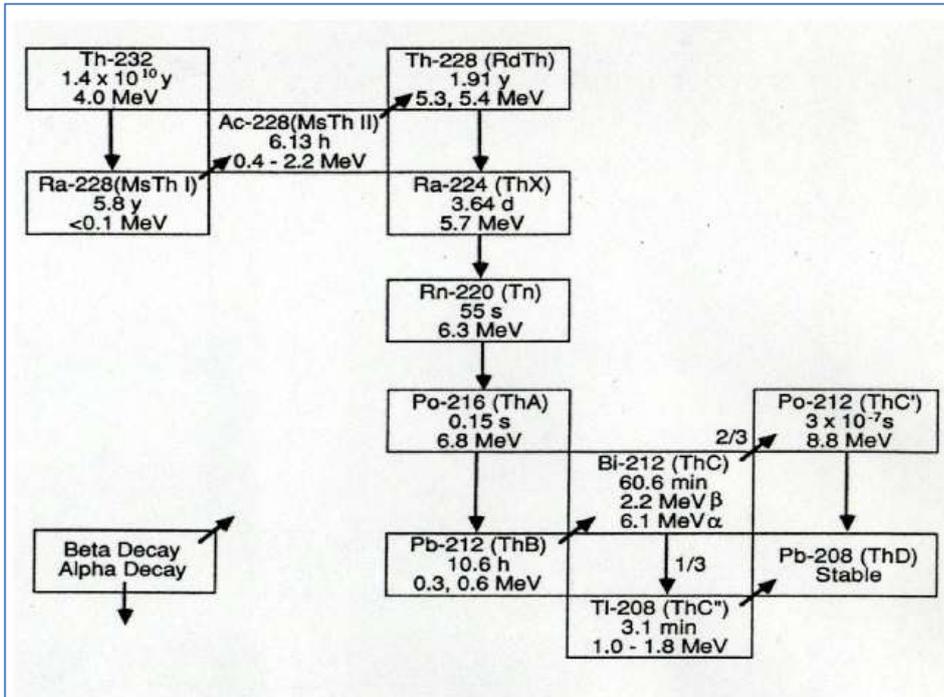
**Lunghezza Traccia = 33px \* 6 $\mu\text{m}$  = 198  $\mu\text{m}$**

Il sensore CMOS rileva la radiazione beta emessa dalla sorgente di Stronzio.

Nella figura a lato si vede l'immagine ingrandita della traccia di un elettrone.

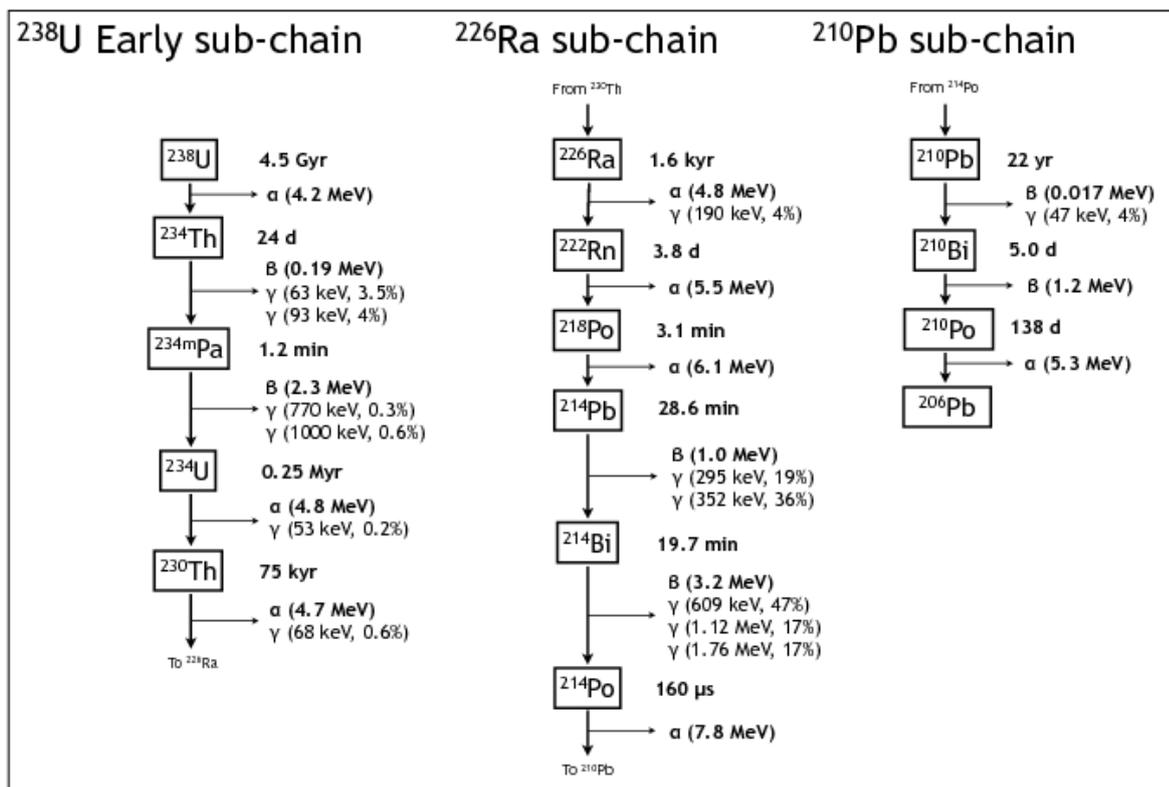
## Decadimento Torio

Catena di decadimento del Torio 232 con indicazione dell'energia particelle alfa e particelle beta.



## Decadimento Uranio

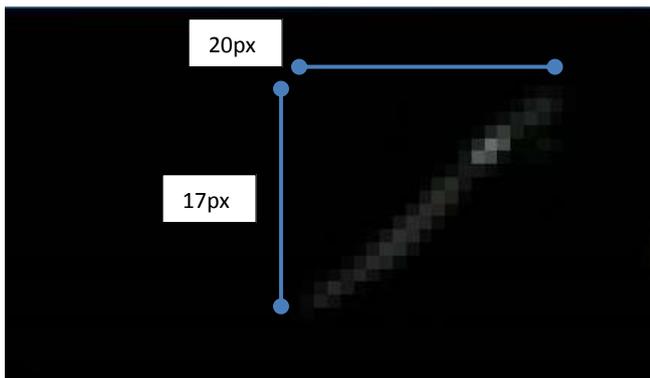
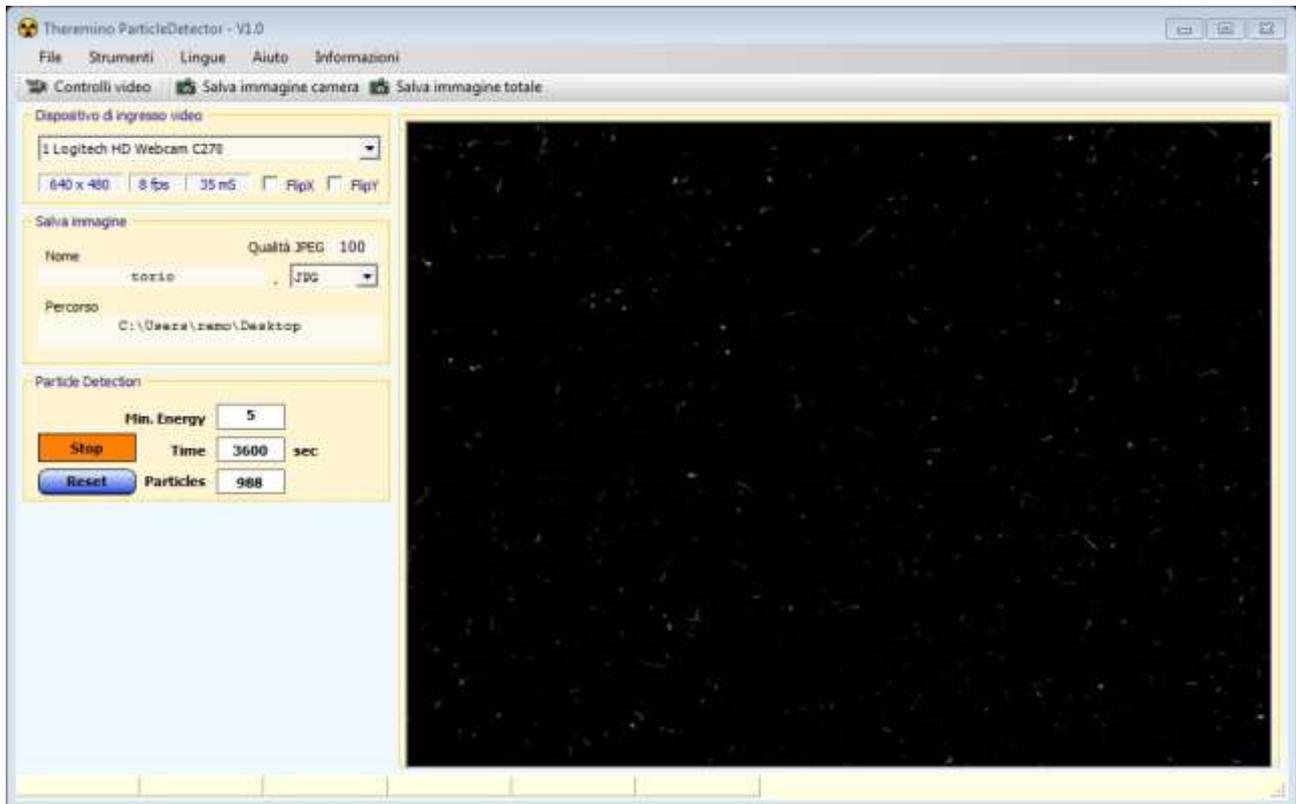
Catena di decadimento dell'Uranio 238 con indicazione dell'energia particelle alfa e particelle beta.



## Torio

Il **torio** è un elemento chimico con simbolo **Th** e numero atomico 90. Un metallo radioattivo della serie degli attinidi, il torio è uno dei soli tre elementi radioattivi presenti ancora in quantità significative in natura come elemento primordiale (gli altri due sono di bismuto e uranio).

Il decadimento della catena del torio produce particelle alfa, particelle beta e radiazione gamma. In particolare le **particelle beta emesse sono caratterizzate da energia abbastanza elevate.**



**Sorgente = Torio (reticella toriata)**

**Time = 3600s**

**Particles = 988**

**CPS = 0,274**

**Lunghezza Traccia = 26px \* 6µm = 156 µm**

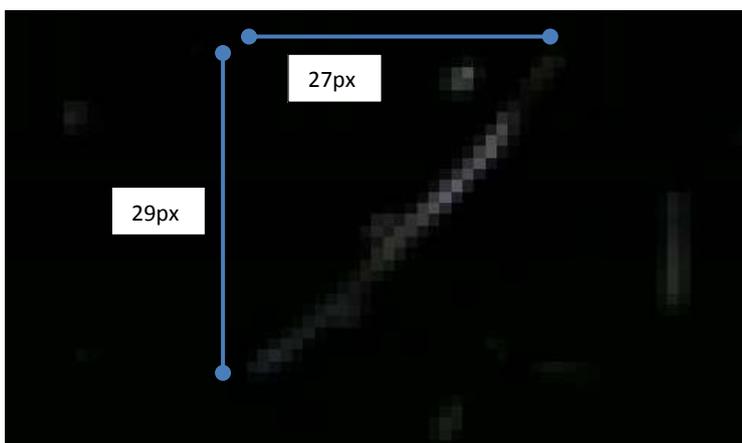
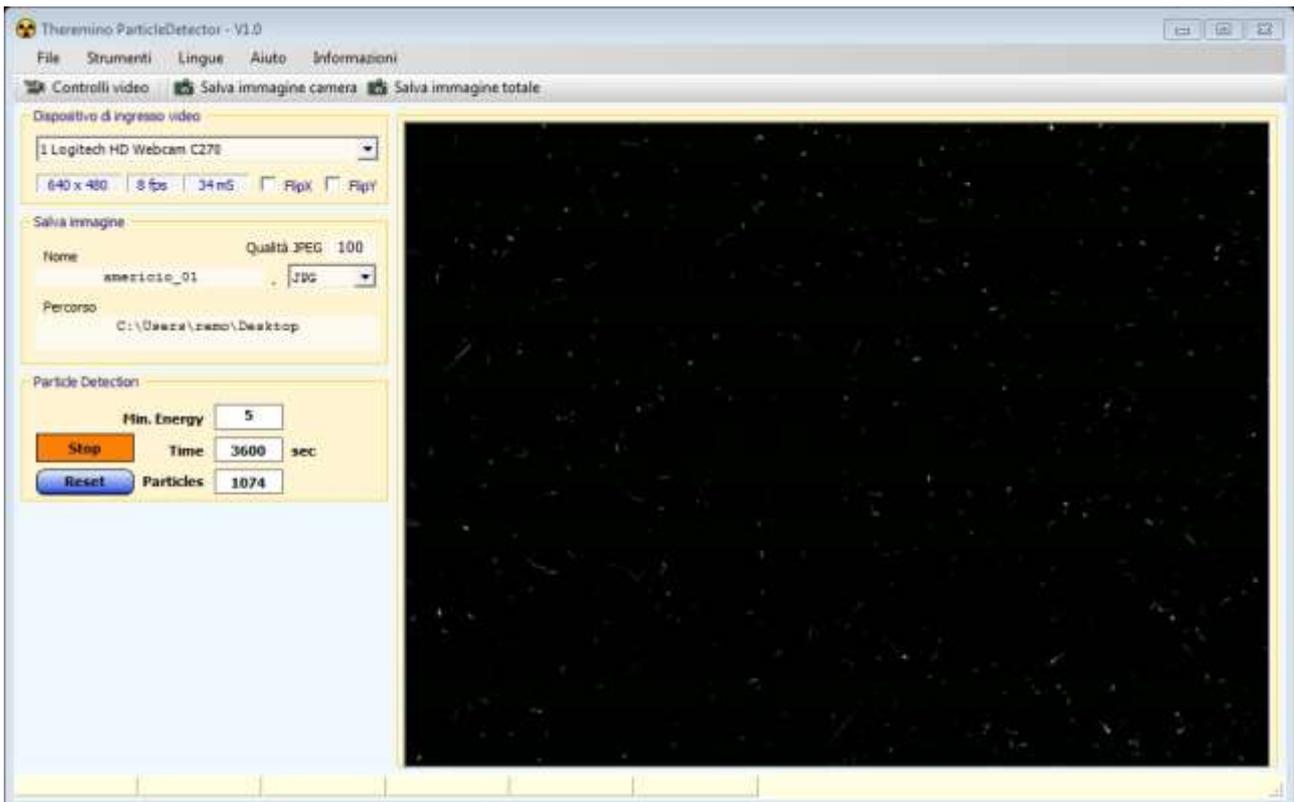
Il sensore CMOS rileva la radiazione beta emessa dal decadimento del Torio.

Nella figura a lato si vede l'immagine ingrandita della traccia di un elettrone.

## Uranio - Uraninite

**Uranio** è un elemento chimico con simbolo **U** e numero atomico 92. È un metallo bianco-argenteo nella serie degli attinidi della tavola periodica. Un atomo di uranio ha 92 protoni e 92 elettroni, di cui 6 elettroni di valenza. L'uranio è debolmente radioattivo, perché tutti i suoi isotopi sono instabili (con emivita dei 6 isotopi noti, dall'uranio-233 all'uranio-238, che variano tra i 69 anni e 4,5 miliardi di anni). Gli isotopi più comuni dell'uranio sono **uranio-238** (che ha 146 neutroni e rappresenta quasi il 99,3% dell'uranio presente in natura) e **uranio-235** (che ha 143 neutroni, pari al 0,7% dell'elemento naturale).

**Uraninite** o **Pechblenda** è un minerale fortemente radioattivo, ed è una delle principali fonti naturali di uranio.



**Sorgente = Ossido di Uranio (Uraninite)**

**Time = 3600s**

**Particles = 1074**

**CPS = 0,298**

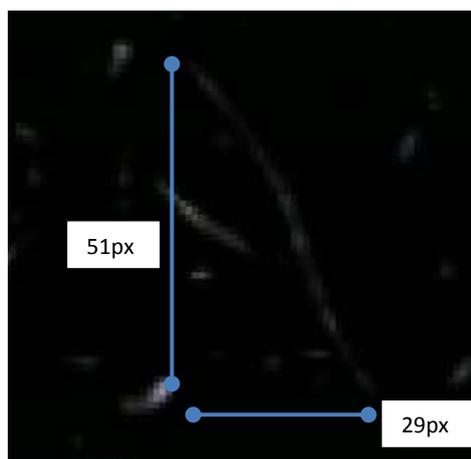
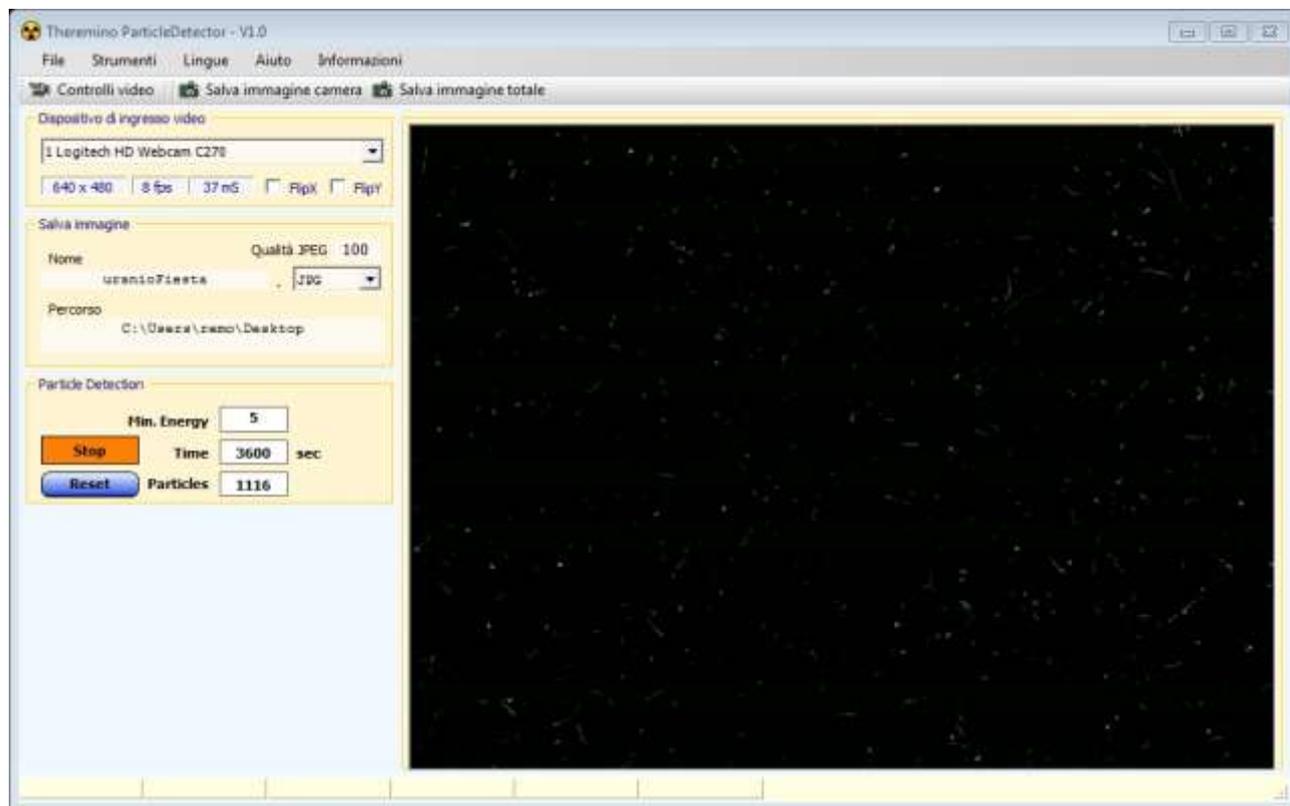
**Lunghezza Traccia = 40px \* 6µm = 240 µm**

Il sensore CMOS rileva la radiazione beta emessa dal decadimento dell'Uranio.

Nella figura a lato si vede l'immagine ingrandita della traccia di un elettrone.

## Uranio – FiestaWare

L'uranio veniva in passato utilizzato per dare un colore acceso agli smalti per ceramiche. L'uranio contenuto nello smalto ha la particolarità di essere stato raffinato, pertanto non contiene tutti i prodotti del decadimento a partire da radio fino al piombo e bismuto. Per questo motivo gli isotopi a partire da Radio in poi sono presenti solo in minima parte.



**Sorgente = Smalto all'Uranio**

**Time = 3600s**

**Particles = 1116**

**CPS = 0,31**

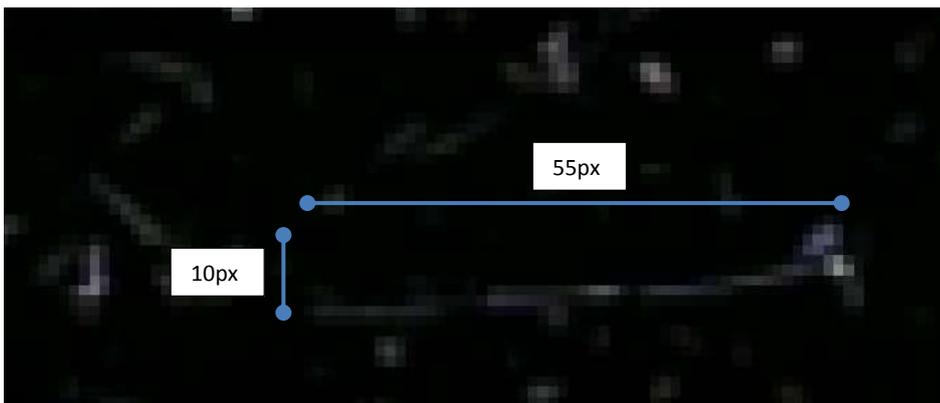
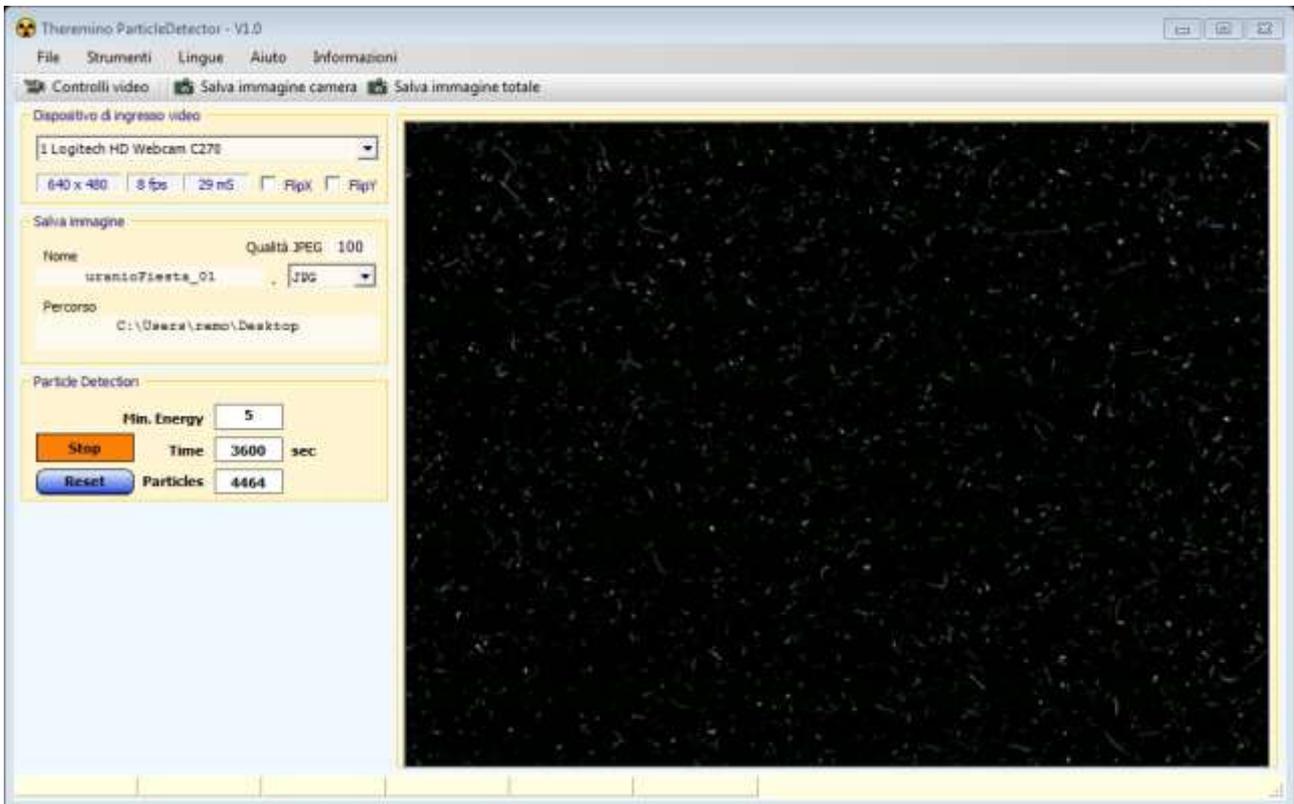
**Lunghezza Traccia = 59px \* 6µm = 354 µm**

Il sensore CMOS rileva la radiazione beta emessa dal decadimento dell'Uranio.

Nella figura a lato si vede l'immagine ingrandita della traccia di un elettrone.

## Radio

Il **radio** è un elemento chimico con simbolo **Ra** e numero atomico 88. È il sesto elemento nel gruppo 2 della tavola periodica, noto anche come i metalli alcalino-terrosi. Il colore di radio puro è quasi bianco puro, ma si ossida facilmente se esposto all'aria e diventa di colore nero. Tutti gli isotopi del radio sono altamente radioattivi, l'isotopo più stabili è il radio-226, che ha un tempo di dimezzamento di 1600 anni e decade in radon.



**Sorgente = Lancette con vernice al Radio**

**Time = 3600s**

**Particles = 4464**

**CPS = 1,24**

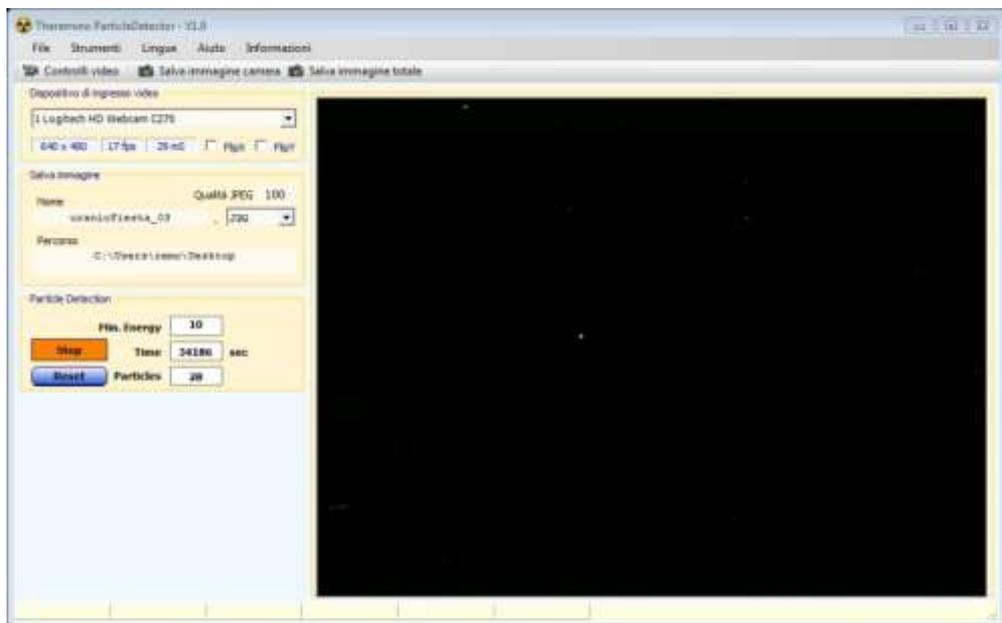
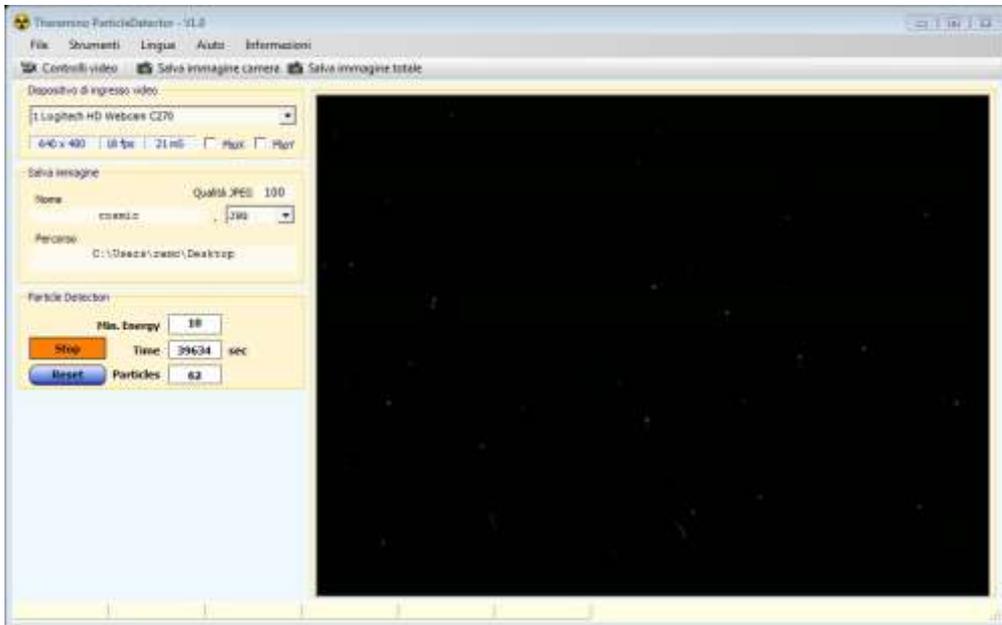
**Lunghezza Traccia = 56px \* 6µm = 336 µm**

Il sensore CMOS rileva la radiazione beta emessa dal decadimento del Radio.

Nella figura sopra si vede l'immagine ingrandita della traccia di un elettrone.

## Raggi Cosmici

Con il sensore a Webcam si possono effettuare rilevazioni di **Muoni Cosmici**. E' sufficiente mettere il sensore in posizione orizzontale in modo da massimizzare la superficie "utile" ed effettuare esposizioni di molte ore. Le due immagini riportate sotto sono relative a due misurazioni :



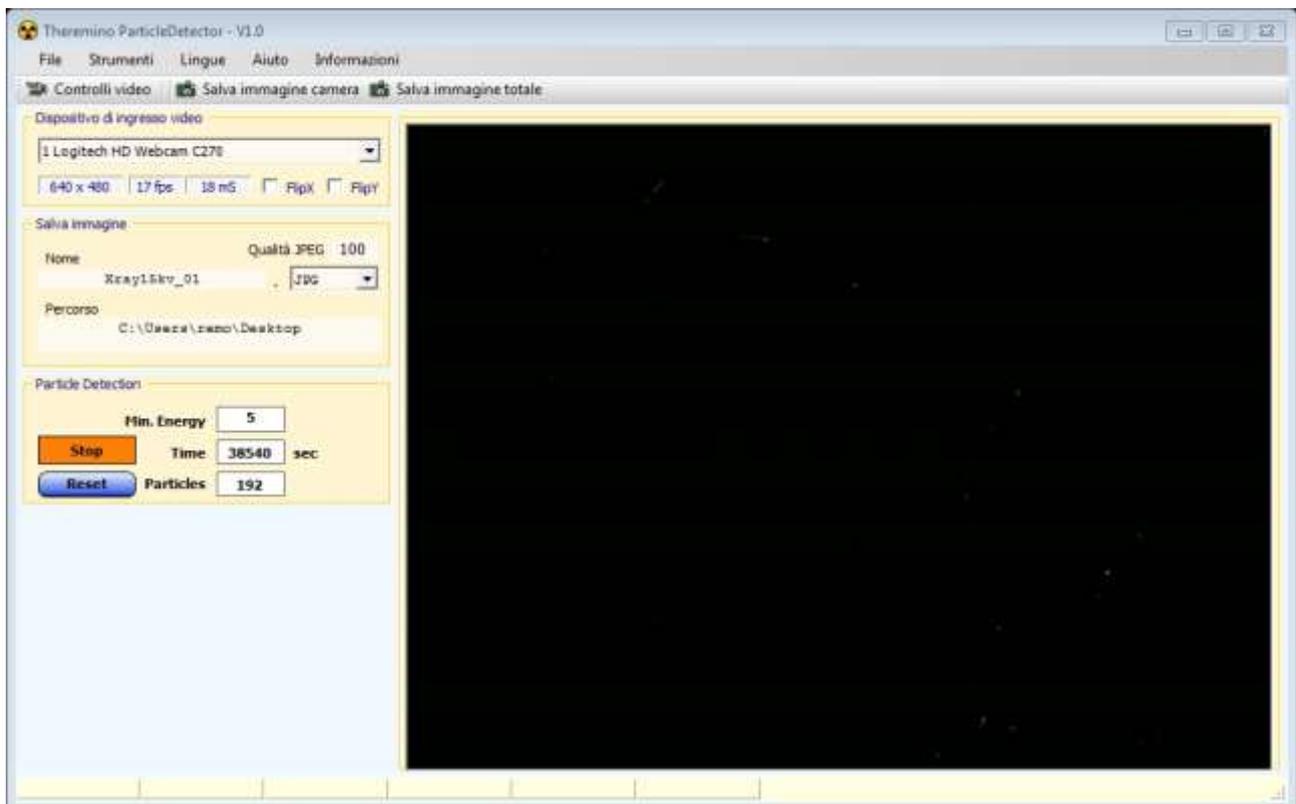
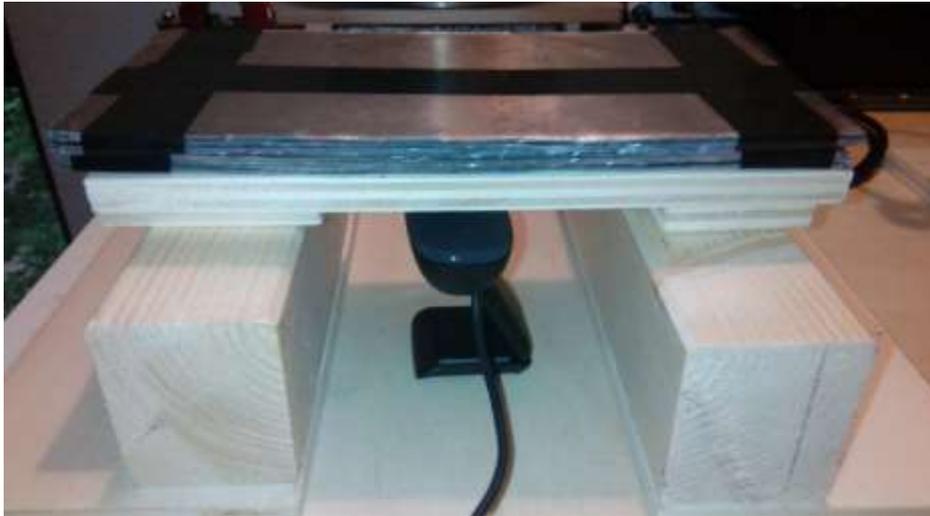
Prima misurazione : 0,00156 CPS = **0,0939 CPM**

Seconda misurazione : 0,00082 CPS = **0,0492 CPM**

Le due misure sono in buon accordo tra loro. Il flusso teorico per la superficie di **9,45 mm<sup>2</sup>**, tenendo conto del fatto che il flusso è di 1 CPM per una superficie di 1cm<sup>2</sup>, vale **0,0945 CPM**. Le misure sono leggermente inferiori al valore "teorico" a causa del fatto che la superficie del sensore CMOS sensibile alle particelle è sensibilmente inferiore al valore "geometrico".

## Cascate Elettromagnetiche

Con il sensore a Webcam si possono effettuare misure sulle cascate elettromagnetiche generate in materiali ad alta densità, come il piombo. L'immagine sotto riporta il setup dell'esperienza : la webcam viene posizionata sotto ad uno spessore di piombo di circa 2cm. La componente "molle" dei raggi cosmici, interagendo con il piombo, genera particelle secondarie, elettroni e positroni, che vengono rilevate dalla webcam.



**Time = 38540s**

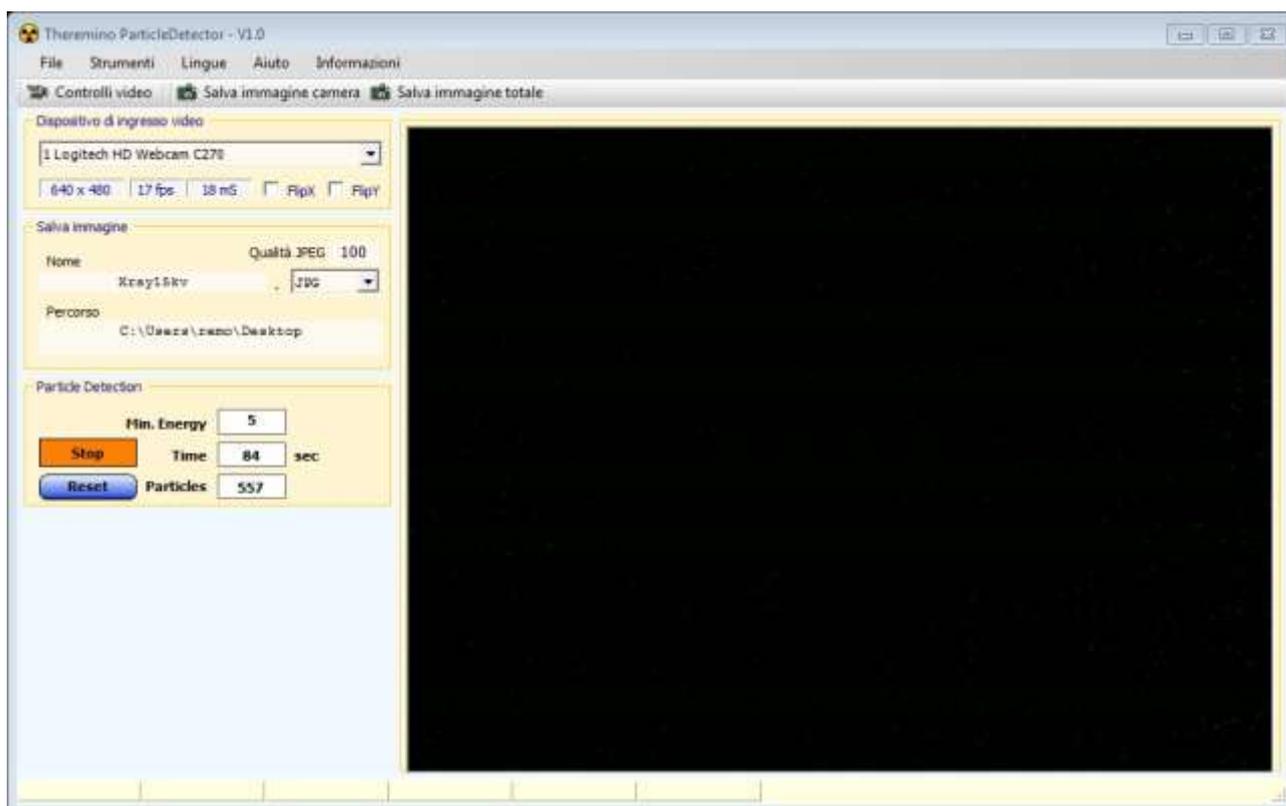
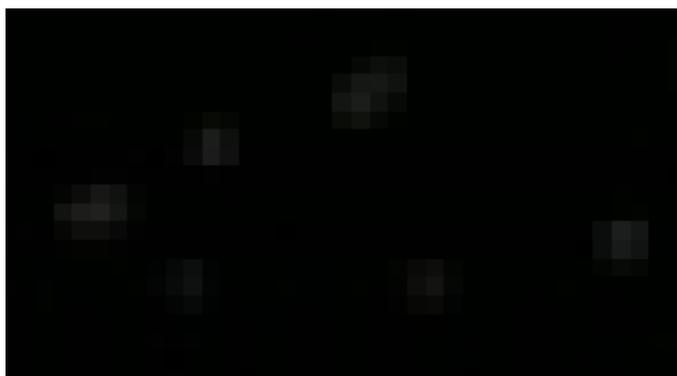
**Particles = 192**

**CPS = 0,00498 – Superiore di un ordine di grandezza al valore che si ottiene senza lastra di piombo**

## Raggi X



Abbiamo utilizzato il sensore a Webcam per fare una prova con un generatore di **raggi X a 15kV**. Nella figura a lato si vede il dettaglio della Webcam posizionata di fronte alla finestra anteriore (in berillio) del tubo. La Webcam è sensibile, anche se con bassa efficienza, ai raggi X. Sotto si vede il dettaglio di alcuni pixel attivati da fotoni X. La luminosità dei pixel è bassa a causa della bassa energia dei fotoni X.



**Time = 84s**  
**Particles = 557**  
**CPS = 6,6**

## Conclusioni

I test effettuati hanno dimostrato che una webcam commerciale può essere utilizzata come un semplice rivelatore di particelle “low cost”.

**La sensibilità alle particelle alfa è però fortemente limitata** dallo strato protettivo trasparente del sensore CMOS. Rimuovere questa protezione renderebbe la webcam sensibile anche alla radiazione alfa, si tratta però di una operazione difficile che facilmente porta alla rottura del sensore.

**La webcam ha una buona sensibilità alla più penetrante radiazione beta**, la stima della lunghezza delle tracce lasciate dagli elettroni, rilevati dal sensore, può dare indicazioni sulla energia delle particelle.

Tipo Sorgente	Massima Lunghezza Tracce	Massima Energia Emissione $\beta$
Cesio 137	120 $\mu\text{m}$	512 keV
Sodio 22	144 $\mu\text{m}$	544 keV
Stronzio 90	198 $\mu\text{m}$	546 keV – 2,280 MeV
Torio	156 $\mu\text{m}$	>1MeV
Uranio – Uraninite	240 $\mu\text{m}$	>2MeV
Uranio – Smalto con Uranio	354 $\mu\text{m}$	>2MeV
Radio	336 $\mu\text{m}$	>2MeV

Dalla tabella sopra riportata si vede come il Cesio ed il Sodio che emettono elettroni beta con energia di circa 500 keV danno luogo a tracce sensibilmente più corte rispetto a Stronzio, Uranio, Radio che emettono elettroni beta con energie anche superiori ai 2-3MeV.

Naturalmente si tratta soltanto di stime puramente qualitative.

**La webcam è sensibile anche alle particelle cosmiche come i muoni**, la limitata superficie del sensore ne limita però molto la possibilità di utilizzo.

**La sensibilità della webcam alla radiazione gamma è limitata**, probabilmente a causa della piccola probabilità di interazione all'interno della zona sensibile del sensore CMOS. Prove sono state fatte sia con radiazione gamma a bassa energia (Americio 241) e sia con raggi X “molli” a 15keV.

Da una prima analisi sembra che il sensore CMOS risponda maggiormente a radiazione gamma di bassa energia (<100keV).