



# Metodologia della misura e analisi dati

15 Dicembre 2022



*Christian Farnese*

*christian.farnese@pd.infn.it*



- Un breve riassunto delle puntate precedenti
- Ed ora?! Calibrazione ed analisi dati
- Come preparare la relazione

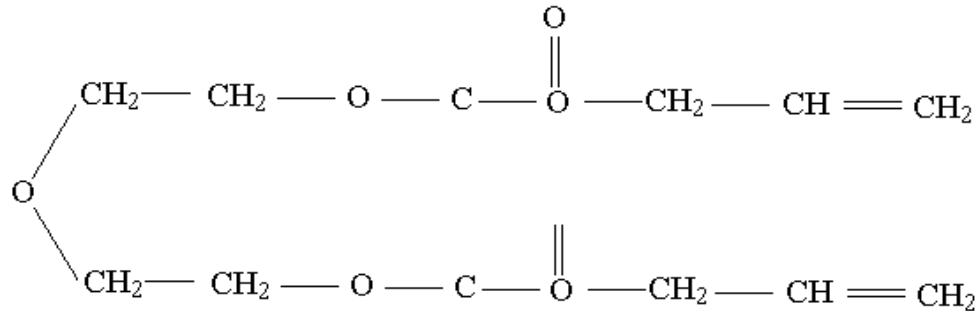
# Perche' Radiolab

- Il progetto Radiolab permette ai partecipanti di **svolgere un'attività sperimentale con le stesse metodologie utilizzate nei laboratori scientifici**, utilizzando procedure e tecniche sperimentali che si sono dimostrate, nella loro semplicità, all'avanguardia.
- Oltre ad essere semplice, la misura è poco costosa, può coinvolgere un numero elevato di studenti e può fornire risultati davvero interessanti
- L'argomento trattato si presta a una **trattazione interdisciplinare** che può coinvolgere fisica, chimica, geologia, biologia, medicina, diritto...
- Attraverso quanto i partecipanti apprendono, Radiolab può aiutare a divulgare le conoscenze relative alle tematiche della radioattività ambientale anche al di fuori dell'ambiente scolastico (interazione tra studenti anche di altre classi, docenti e le loro famiglie) introducendo in modo corretto il **tema della radioattività** ed aiutando a vincere la diffidenza nei confronti del nucleare

# Il CR-39 (Columbia RESINS – 39)

Per la nostra misura utilizziamo il CR-39

## *Poli Allil Diglicol Carbonato*



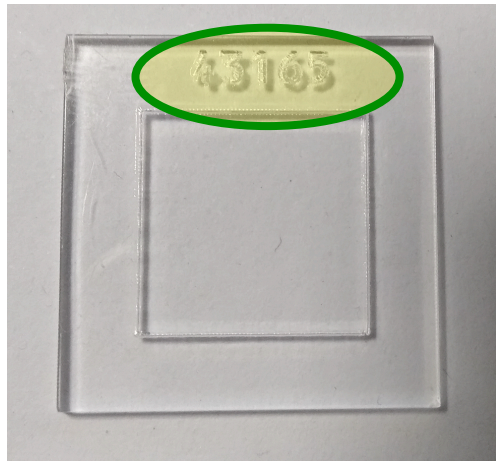
Resina termoindurente ottenuta mediante un processo di polimerizzazione

Proprietà ottiche e meccaniche simili ma più vantaggiose rispetto al vetro, con stesso indice di rifrazione (circa 1.5) e bassa dispersione cromatica. Peso specifico circa la metà del vetro con resistenza all'impatto 4 volte superiore

**Materiale perfetto come dosimetro passivo:** le particelle  $\alpha$  che attraversano il CR-39 «danneggiano» le molecole del materiale (ionizzando i loro atomi) lungo una traiettoria: questo passaggio viene registrato dal dosimetro in quanto vengono lasciate delle tracce di dimensioni nanometriche, che possono essere rese visibili al microscopio mediante un attacco chimico con soluzione fortemente corrosiva.

Idea di base della misura: "più Radon, più segnali"!

# I rivelatori a tracce CR-39: Dosimetry Tasl Tastrak



dimensioni 25 x 25 mm



Le lastre utilizzate sono rivelatori passivi ed hanno pregi e difetti:

- ✓ Sono rivelatori pratici
- ✓ Le misure non dipendono dalle condizioni ambientali (temperatura e umidità)
- ✓ Buone caratteristiche dosimetriche: risposta su un ampio intervallo di energie delle particelle (200 keV-14 MeV) e bassa soglia di rivelazione ( $< 0.1$  mSv).
- ✓ Ogni lastrina e' numerata!
- ◆ Le lastre possono presentare delle tracce di fondo dovute ad imperfezioni legate al processo di produzione, con una densità differente per le due facce

# I rivelatori a tracce CR-39: Dosimetry Tasl Tastrak

I rivelatori sono stati esposti all'interno di un apposito contenitore che presenta una chiusura ad incastro che lascia una piccola apertura fra base e cupola attraverso la quale può entrare aria nella camera di espansione interna

- Questo permette di misurare solo i prodotti di decadimento del Radon!!

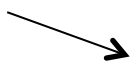


Il Radon è un gas nobile prodotto nella catena dell'uranio ed ha un tempo di dimezzamento lungo; può quindi infilarsi insieme all'aria all'interno della scatolina attraverso la fessura presente e decadere all'interno, rilasciando la sua radioattività nel mio strumento.

Se utilizzassi questa lastrina - rivelatore senza la sua scatoletta di protezione potrei registrare anche i segnali, le tracce create da particelle alfa che provengono dagli altri prodotti di decadimento. Invece tutte le altre possibili particelle alfa "incontrano" l'involucro, non passano attraverso la scatoletta di plastica, che è troppo spessa, e quindi non creano tracce.

# Procedura sperimentale

## 1. Esposizione dei rivelatori



I dosimetri assegnati a ciascuno di voi sono stati esposti per circa 100 giorni. Alcuni dosimetri sono stati conservati per lo stesso periodo in busta sigillata: dosimetri "non esposti"

Parametri importanti: il luogo ed il tempo dell'esposizione!!

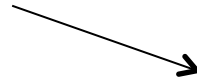
Alcuni dosimetri campione sono stati precedentemente spediti al politecnico di Milano per la calibrazione

2. Sviluppo chimico dei rivelatori esposti
3. Lettura delle tracce mediante microscopio
4. Determinazione della concentrazione
5. Stesura della relazione

# Procedura sperimentale

1. Esposizione dei rivelatori

2. Sviluppo chimico dei rivelatori esposti



**Attacco chimico:** i dosimetri sono immersi in una soluzione NaOH 6 molare mantenuta ad 80 gradi per almeno 5 ore.

3. Lettura delle tracce mediante microscopio

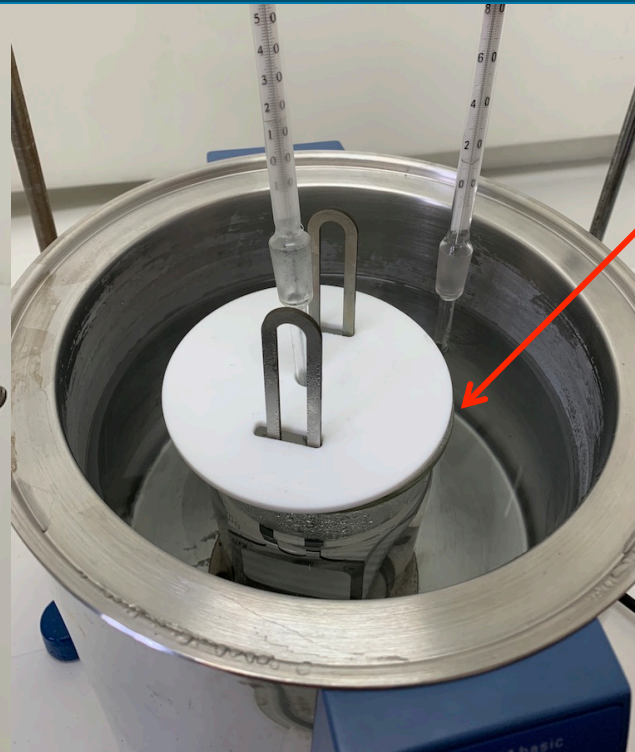
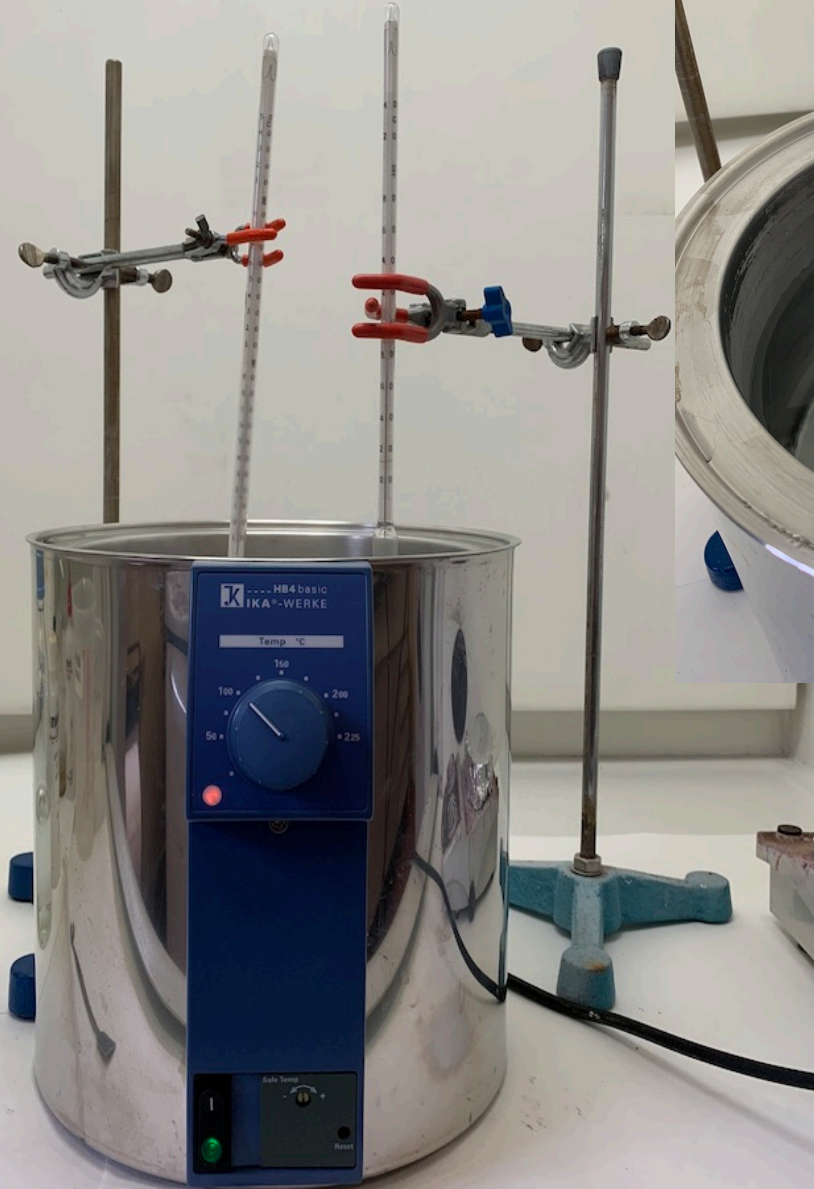
4. Determinazione della concentrazione

5. Stesura della relazione

Le tracce prodotte dalle particelle  $\alpha$  che attraversano il CR-39, di dimensioni nanometriche, attraverso l'attacco chimico diventano molto più evidenti e divengono visibili ad un microscopio ottico (risoluzione pari ad un centinaio di nm)

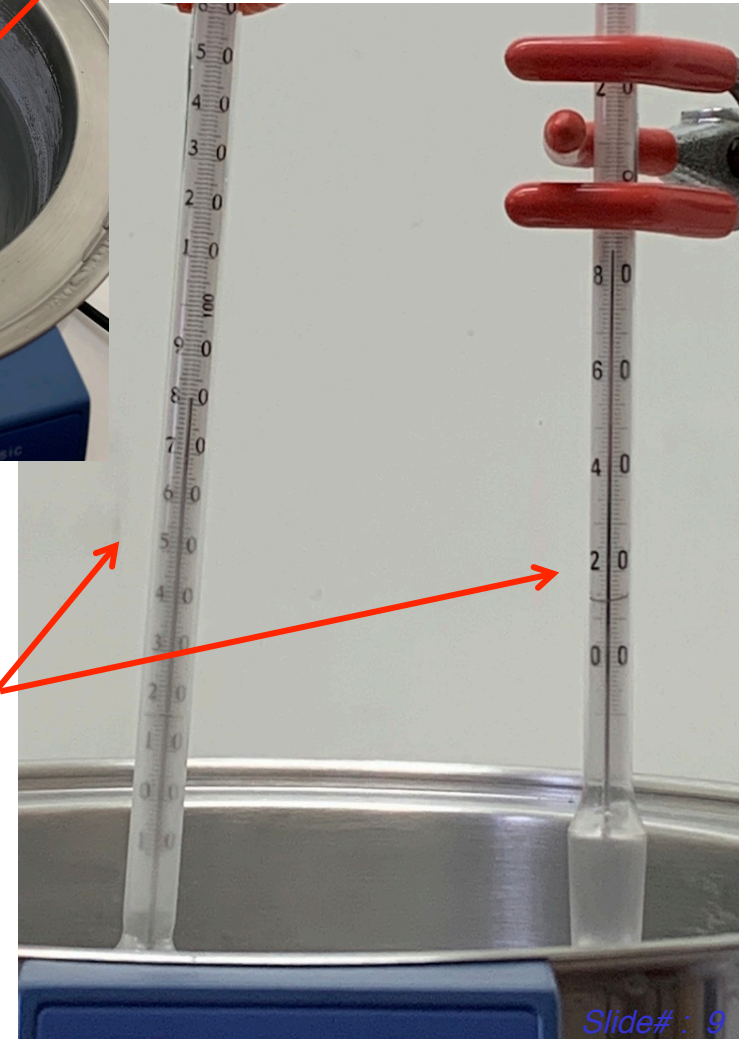


# Fase 2: Sviluppo chimico dei rivelatori esposti

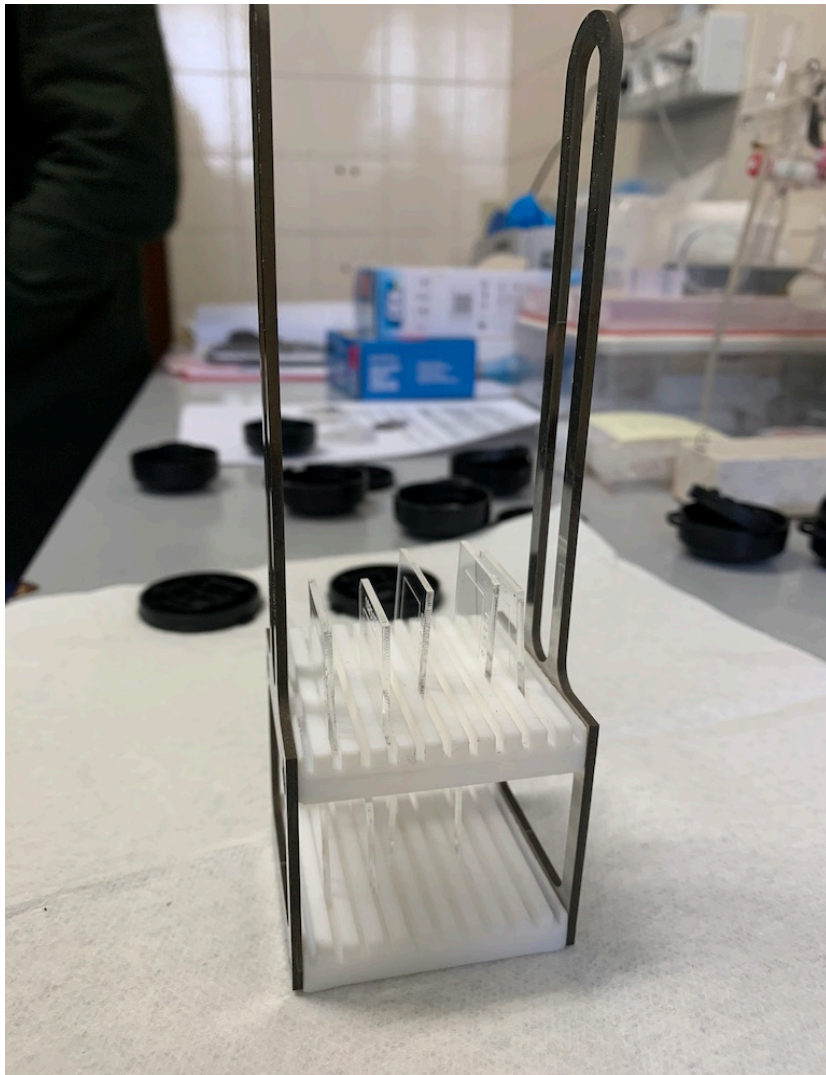


Becher contenente la soluzione ed i dosimetri immerso in acqua

Due termometri per monitorare la temperatura dell'acqua e della soluzione



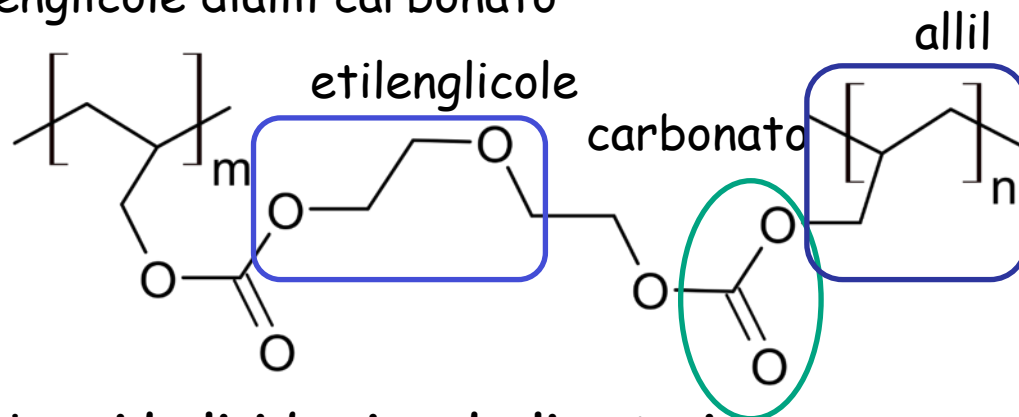
# Sviluppo chimico dei rivelatori esposti



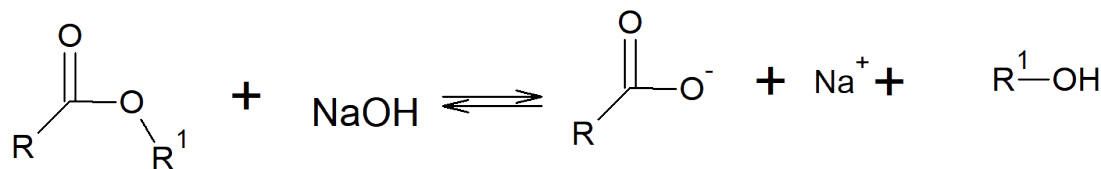
Dosimetro dopo l'attacco chimico: il vetrino diventa più opaco per effetto dell'erosione.

# Attacco chimico (etching) CR-39 con NaOH 6M, 80° C 5h

CR-39 è polietilenglicole diallil carbonato



In NaOH avviene **idrolisi basica degli esteri**:



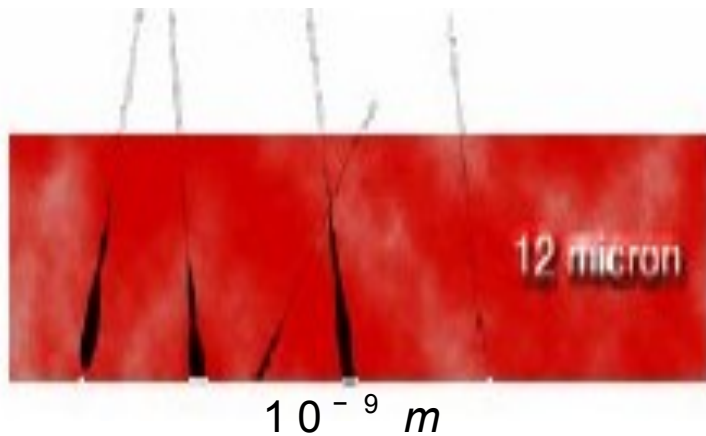
I prodotti di idrolisi sono poi solubili in acqua

Quando immergiamo il CR-39 nella soluzione una parte della molecola si va a legare all' NaOH e nella reazione i vari elementi si scindono. In questo modo il materiale diventa meno resistente allo scioglimento in acqua:

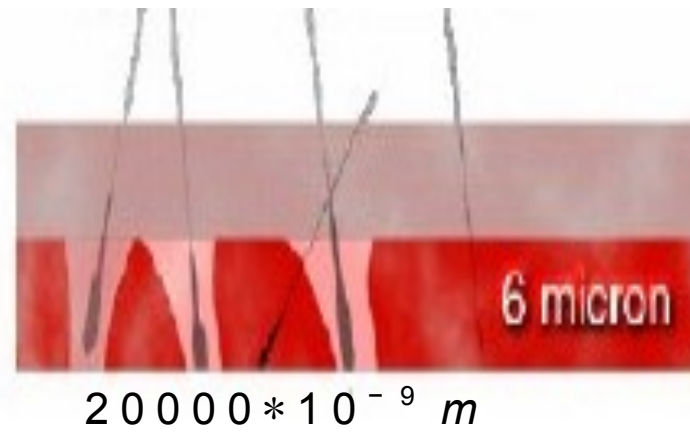
- Questa reazione su CR-39 non irraggiato (dove non sono passate le particelle) ha una velocità di erosione di circa 1  $\mu\text{m}/\text{h}$ ;
- Lungo le tracce, le particelle alfa hanno già danneggiato la catena del polimero causando rottura di legame, la struttura è indebolita e risulta facilitato l'attacco nucleofilo del gruppo idrossile ( $\text{OH}^-$ ) al carbonio carbonilico ( $>\text{C}=\text{O}$ ): lungo le tracce la velocità di erosione raddoppia!

# L'effetto dell'attacco chimico

Le tracce prodotte dalle particelle  $\alpha$  che attraversano il CR-39, di dimensioni nanometriche, attraverso l'attacco chimico diventano molto più evidenti e si rendono quindi visibili ad un microscopio ottico (risoluzione pari ad un centinaio di nm)



Prima dell'attacco chimico  
Dimensioni nanometriche  
 $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$



dopo l'attacco chimico  
Dimensioni micrometriche  
 $\sim 20 \mu\text{m} = 2 * 10^{-5} \text{ m}$

Rimozione dovuta  
all'attacco chimico

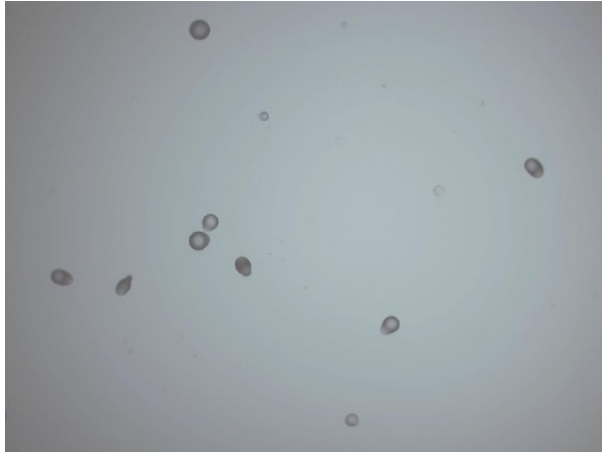
## Fase 3: Lettura delle tracce mediante microscopio

Ogni singolo dosimetro viene osservato al microscopio per evidenziarne le tracce registrate

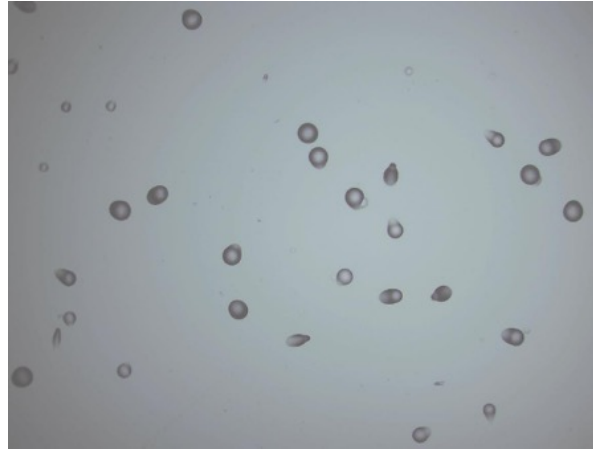


Per ciascun dosimetro vengono salvate almeno una decina di foto da utilizzare per la identificazione delle tracce

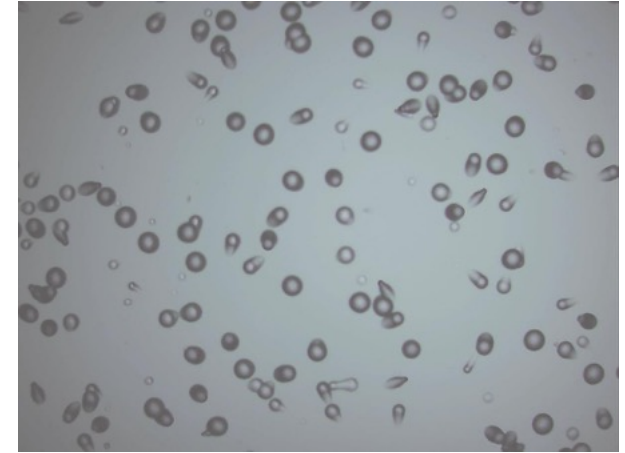
# Lo studio delle tracce



$2.0 \cdot 10^5 \text{ Bq} \cdot \text{h} / \text{m}^3$



$1.0 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{h} / \text{m}^3$



$3.8 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{h} / \text{m}^3$

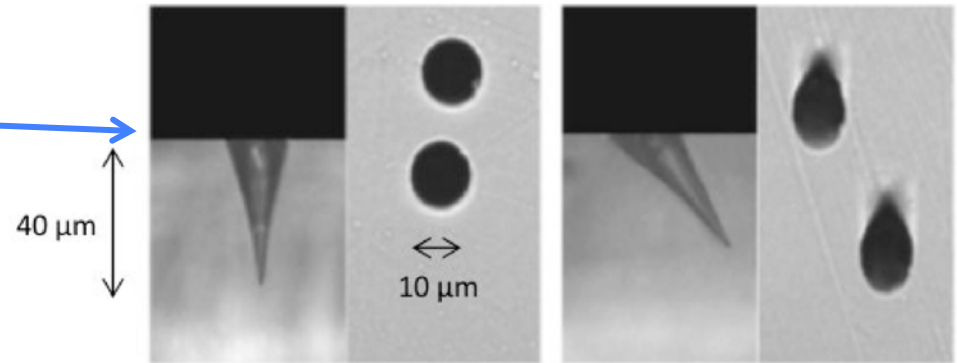
Al crescere della esposizione, aumenta il numero di tracce

Da cosa dipende la forma delle tracce?

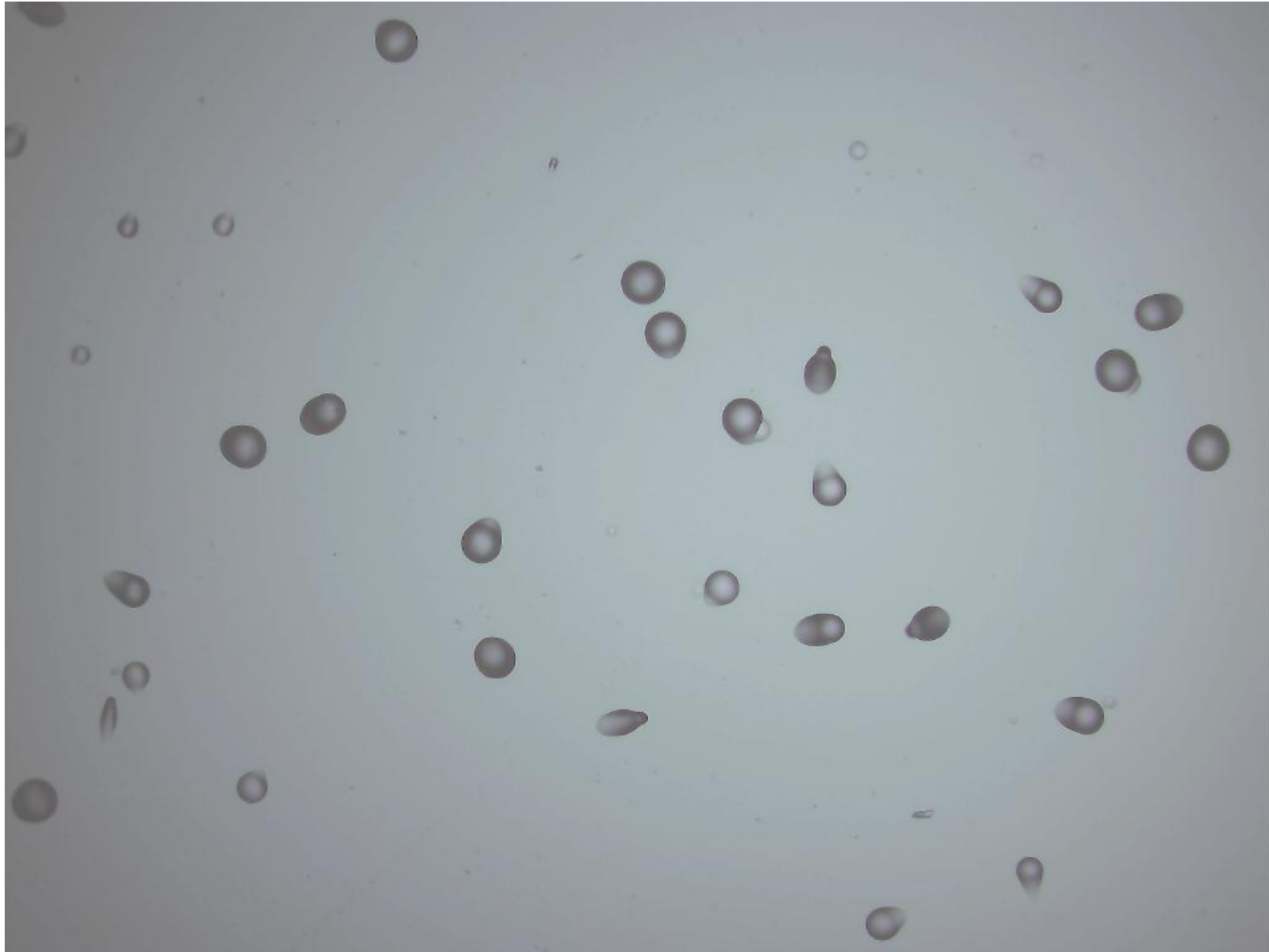
Dalla traiettoria delle particelle alfa!

Quali tracce devo contare e quali no?

Come faccio a riconoscere tracce su una superficie del dosimetro da quelle sull'altra superficie?



# Conteggio delle tracce: facciamo una prova!

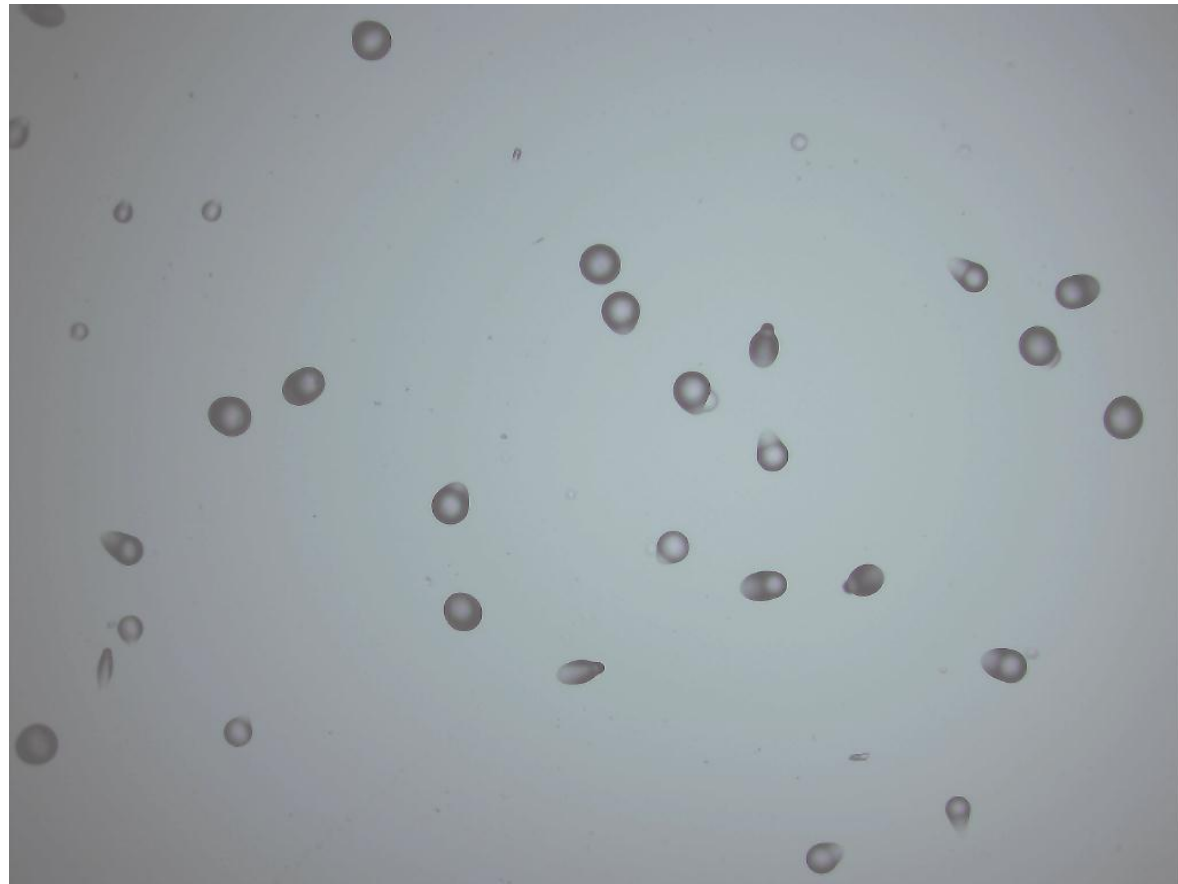


Quante tracce contate?

# Conteggio delle tracce: facciamo una prova!

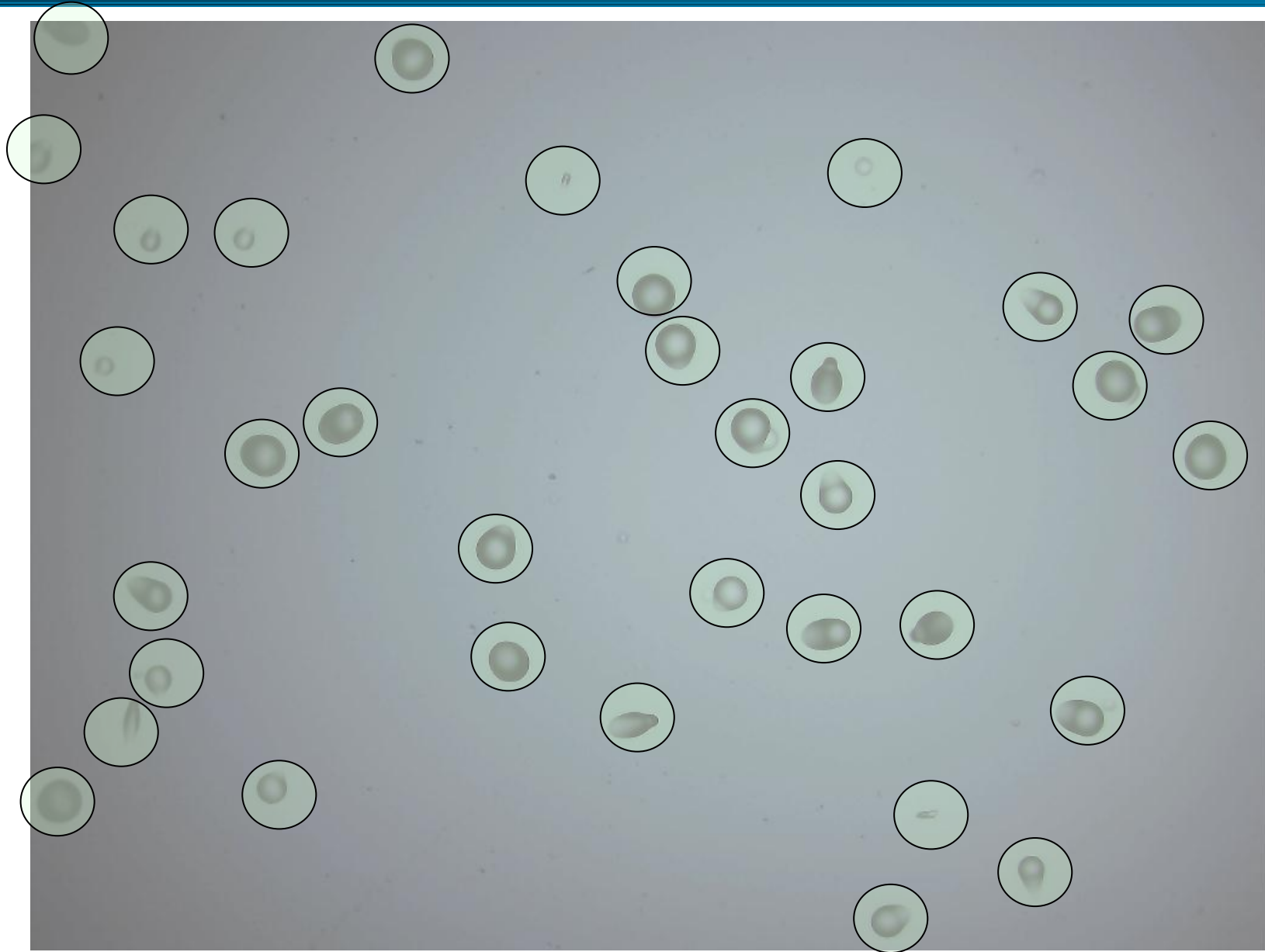
Ecco le nostre risposte:

- Antonio: 32
- Sabine: 32
- Filippo: 33
- Christian: 34



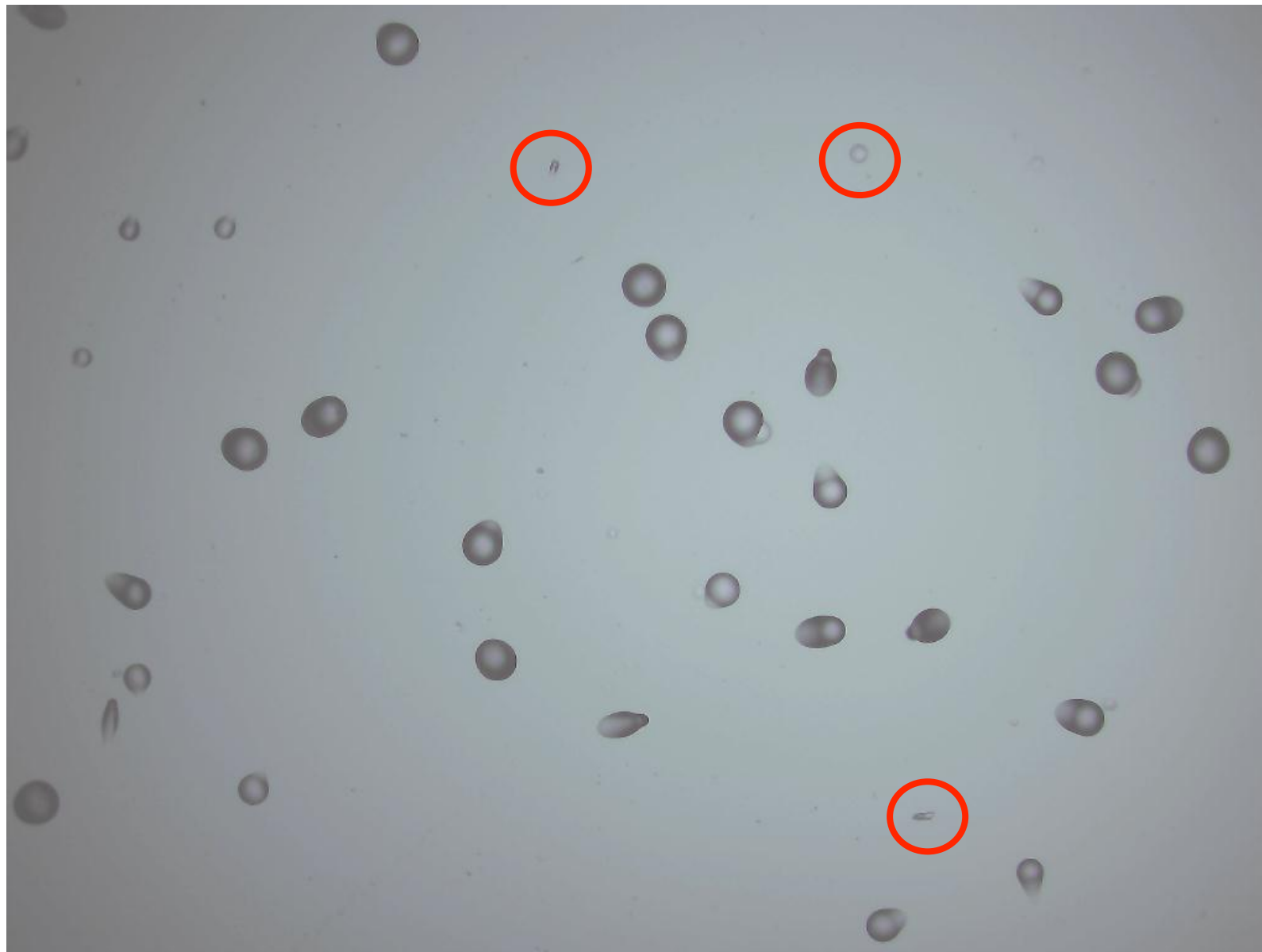


# Conteggio delle tracce: facciamo una prova!



Tracce candidate!

# Conteggio delle tracce: facciamo una prova!



Fra le tracce candidate ecco quelle su cui possiamo avere più dubbi!

# Conteggio delle tracce: facciamo una prova!

Attenzione agli  
artefatti!!



L'analisi delle tracce qui deve essere effettuata su:

- 10 foto relative al vostro dosimetro
- 10 foto per ogni punto di calibrazione (5 punti di calibrazione + 1 punto di transito da usare per sottrazione)

# Ma cos'è la “calibrazione”?!?

Alcuni rivelatori sono stati esposti in camera a Radon presso il Laboratorio di Radioprotezione - Dipartimento di Energia- Sezione Nucleare CESNEF, al Politecnico di Milano

Qui i dosimetri sono stati esposti a diversi valori di esposizione

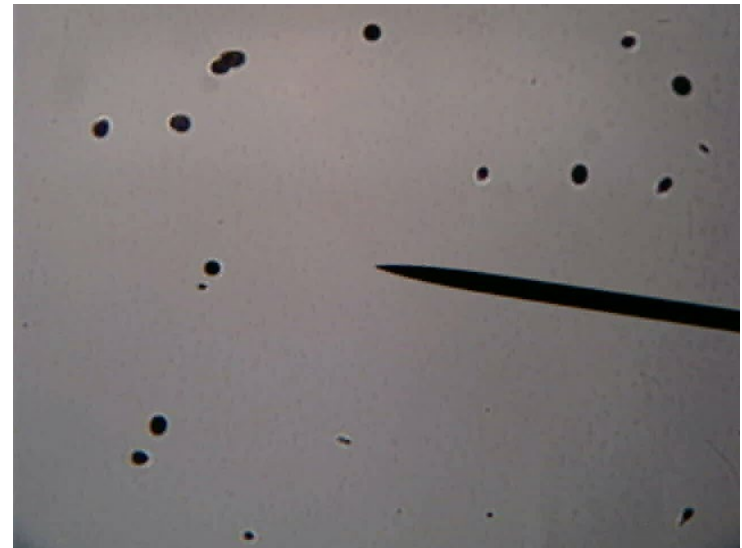
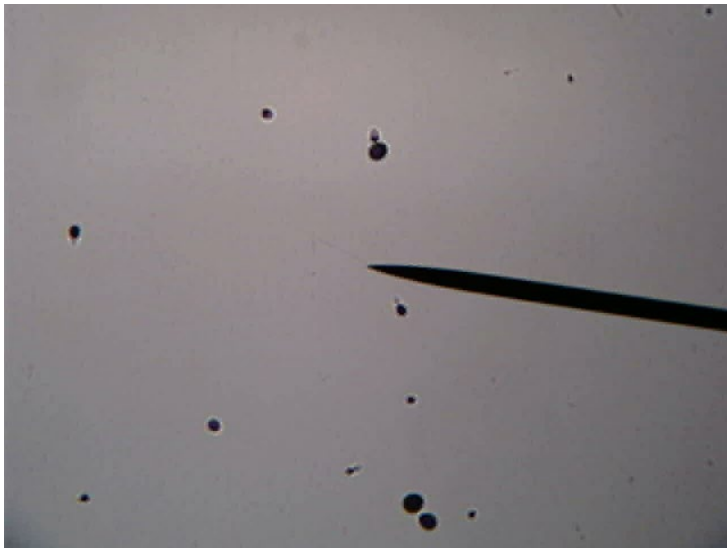
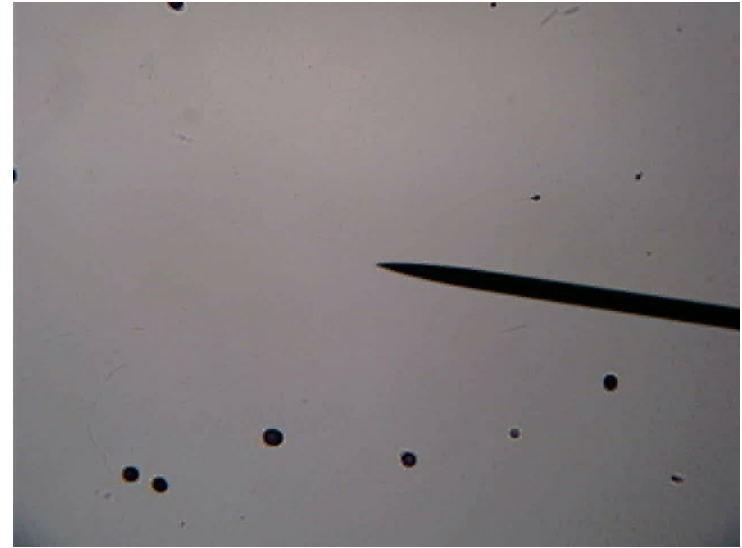
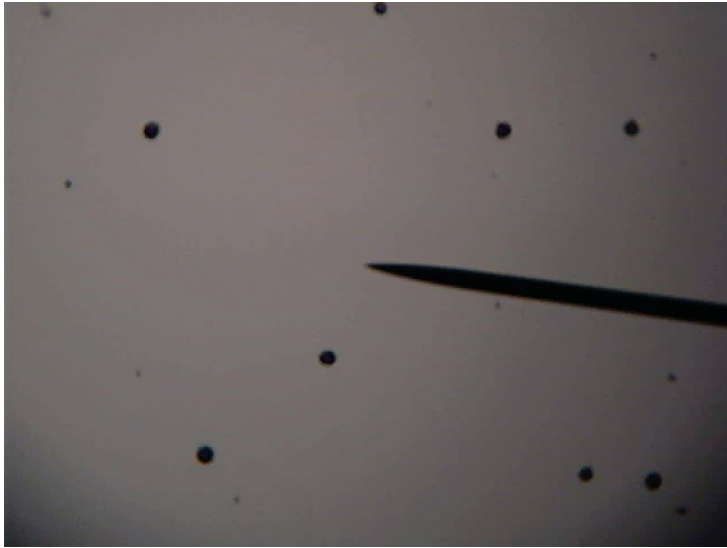


Esposizione [kBq h m <sup>-3</sup> ]	Incertezza esposizione
0,560 x 10 <sup>3</sup>	0.057 x 10 <sup>3</sup>
1.179 x 10 <sup>3</sup>	0.119 x 10 <sup>3</sup>
1.418 x 10 <sup>3</sup>	0.143 x 10 <sup>3</sup>
1.962 x 10 <sup>3</sup>	0.197 x 10 <sup>3</sup>
2.672 x 10 <sup>3</sup>	0.268 x 10 <sup>3</sup>

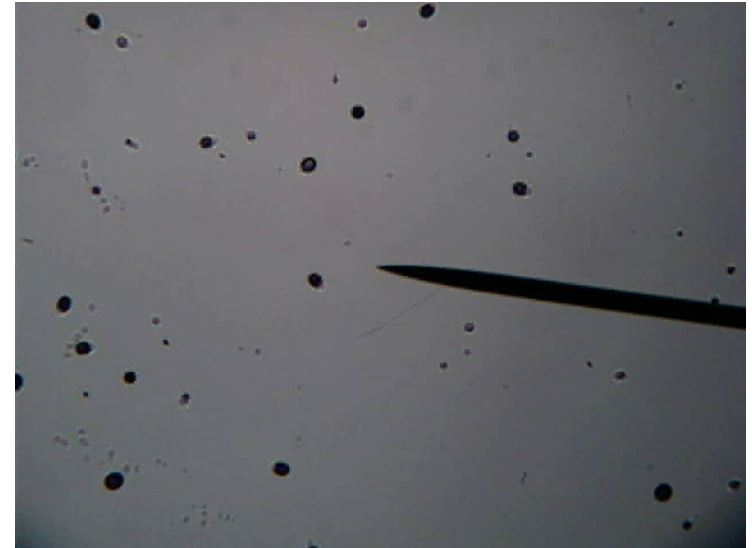
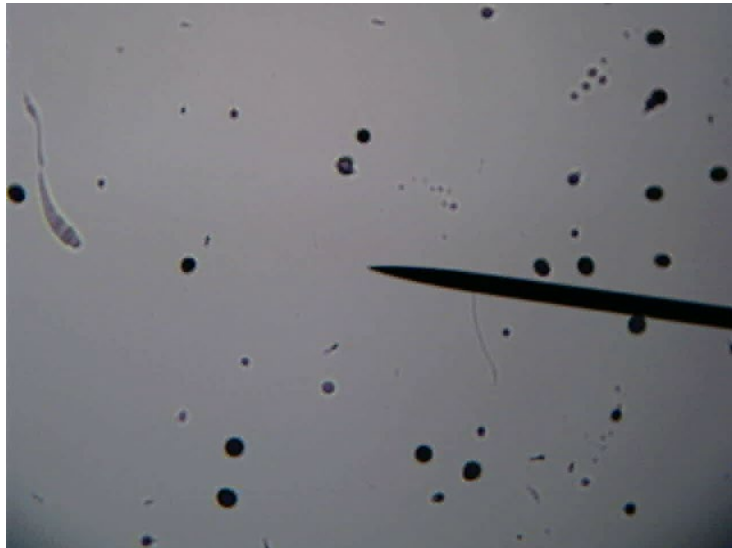
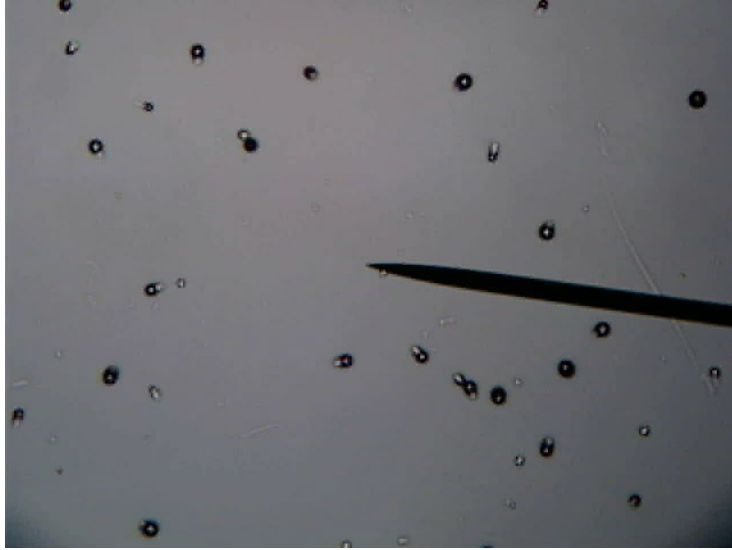
Lo sviluppo di questi dosimetri avviene esattamente come per il rivelatore a voi affidato



# Immagini da un dosimetro con esposizione $500\text{kBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$



# Immagini da un dosimetro con esposizione $2000\text{kBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$



# Costruiamo la curva di calibrazione

Per ciascun punto di calibrazione, per il punto di transito e per il dosimetro "non esposto":

- Contare in ciascuna delle 10 viste (foto) le tracce presenti
- Calcolare il numero medio di tracce per vista (nell'esempio qui proposto una vista corrisponde a  $0.0059 \text{ cm}^2$ )
- Preparare una tabella in cui viene associato questo numero medio di tracce alla corrispondente esposizione
- Al numero medio di tracce per vista per ciascuna esposizione va sottratto il corrispondente valore ottenuto per il punto di transito.

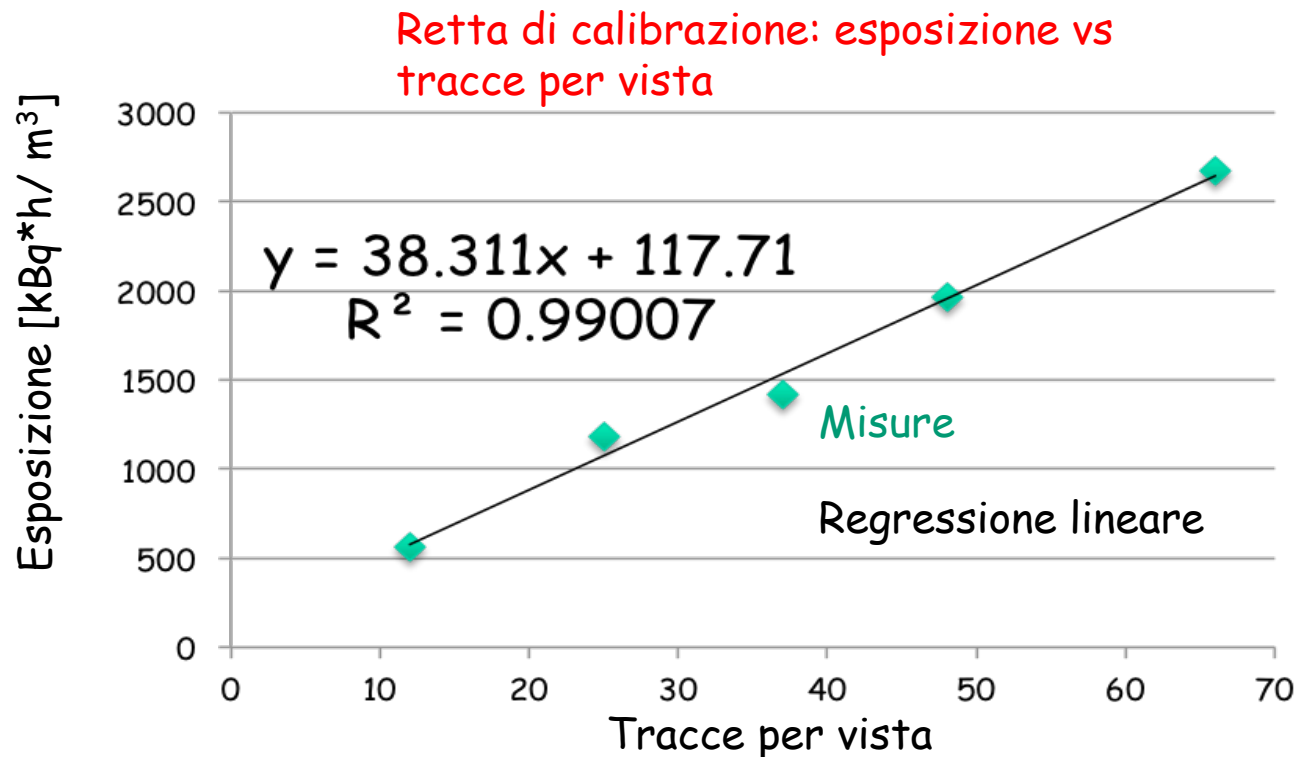
Numero di tracce medio per vista	Esposizione [ $\text{kBq h m}^{-3}$ ]	Incertezza esposizione [ $\text{kBq h m}^{-3}$ ]
12	$0,560 \times 10^3$	$0.057 \times 10^3$
25	$1.179 \times 10^3$	$0.119 \times 10^3$
37	$1.418 \times 10^3$	$0.143 \times 10^3$
48	$1.962 \times 10^3$	$0.197 \times 10^3$
66	$2.672 \times 10^3$	$0.268 \times 10^3$



# Costruiamo la curva di calibrazione

Numero di tracce medio per vista	Esposizione [kBq h m <sup>-3</sup> ]	Incertezza esposizione [kBq h m <sup>-3</sup> ]
12	0,560 × 10 <sup>3</sup>	0.057 × 10 <sup>3</sup>
25	1.179 × 10 <sup>3</sup>	0.119 × 10 <sup>3</sup>
37	1.418 × 10 <sup>3</sup>	0.143 × 10 <sup>3</sup>
48	1.962 × 10 <sup>3</sup>	0.197 × 10 <sup>3</sup>
66	2.672 × 10 <sup>3</sup>	0.268 × 10 <sup>3</sup>

- A partire dalla tabella preparata, costruire un grafico con in ascissa il numero di tracce ed in ordinata l'esposizione
- Eseguire poi una regressione lineare



# Qualche formula per i piu' coraggiosi

Numero di tracce medio per vista	Esposizione [kBq h m <sup>-3</sup> ]
X <sub>1</sub> = 12	Y <sub>1</sub> = 0,560 × 10 <sup>3</sup>
X <sub>2</sub> = 25	Y <sub>2</sub> = 1.179 × 10 <sup>3</sup>
X <sub>3</sub> = 37	Y <sub>3</sub> = 1.418 × 10 <sup>3</sup>
X <sub>4</sub> = 48	Y <sub>4</sub> = 1.962 × 10 <sup>3</sup>
X <sub>5</sub> = 66	Y <sub>5</sub> = 2.672 × 10 <sup>3</sup>

Dopo aver associato a ciascun punto di calibrazione i corrispondente indice i calcolate, usando N=5:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad S_{xx} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x}) \quad S_{yy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$$

A titolo di esempio:

$$\bar{x} = \frac{1}{5}(12 + 25 + 37 + 48 + 66) = 37,6$$

$$S_{xx} = \frac{1}{5} \left[ (12 - 37,6)^2 + (25 - 37,6)^2 + (37 - 37,6)^2 + (48 - 37,6)^2 + (66 - 37,6)^2 \right] = 345,84$$

$$Pendenza = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

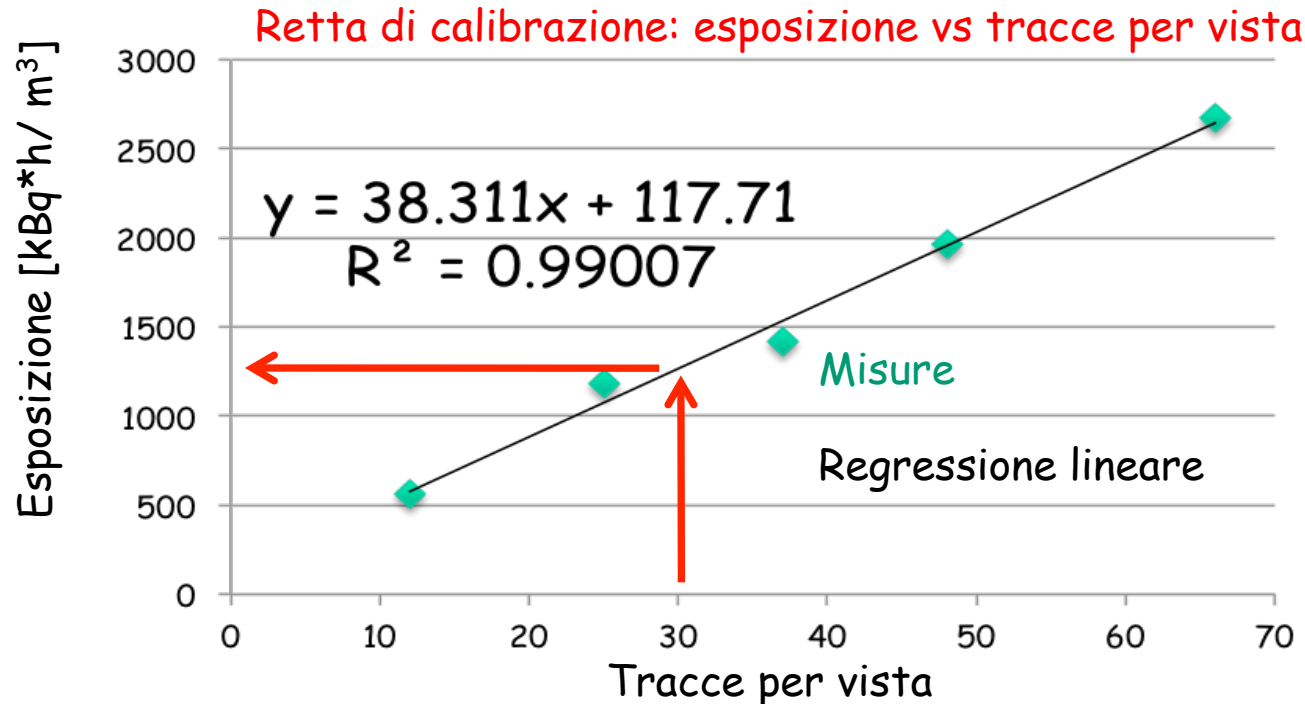
$$Intercetta = \bar{y} - (Pendenza) * \bar{x}$$

$$R^2 = \frac{S_{xy} * S_{xy}}{S_{xx} * S_{yy}}$$

# Dalla curva di calibrazione alla misura

Una volta preparata la curva di calibrazione, passiamo alla nostra misurazione

- Calcolare il numero medio di tracce utilizzando le immagini a disposizione (ricordate di togliere il numero di tracce medio dal dosimetro non esposto!!)
- Estrarre il corrispondente valore di esposizione: il numero medio di tracce e' infatti il valore  $x$  da utilizzare nella curva di calibrazione
- Estrarre infine il corrispondente valore di concentrazione, dividendo l'esposizione in  $[\text{kBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3]$  per il numero di ore in cui il dosimetro ha raccolto dati



# ...ed ora che succede?! Ecco le prossime tappe!

- **OGGI:** Discussione dettagliata dell'attività da svolgere
- **GENNAIO:** Invio materiale relativo ai dosimetri di calibrazione ed al dosimetro associato a ciascuno di voi;
- **GENNAIO - MARZO:** studio delle immagini dei dosimetri di calibrazione, calcolo della curva di calibrazione ed applicazione per ottenere la stima della concentrazione di radon associata al vostro dosimetro
- **02 FEBBRAIO:** prossimo incontro: domande sull'analisi dei dati
  
- **... e infine...: LA RELAZIONE!**

# SCRIVERE UNA RELAZIONE

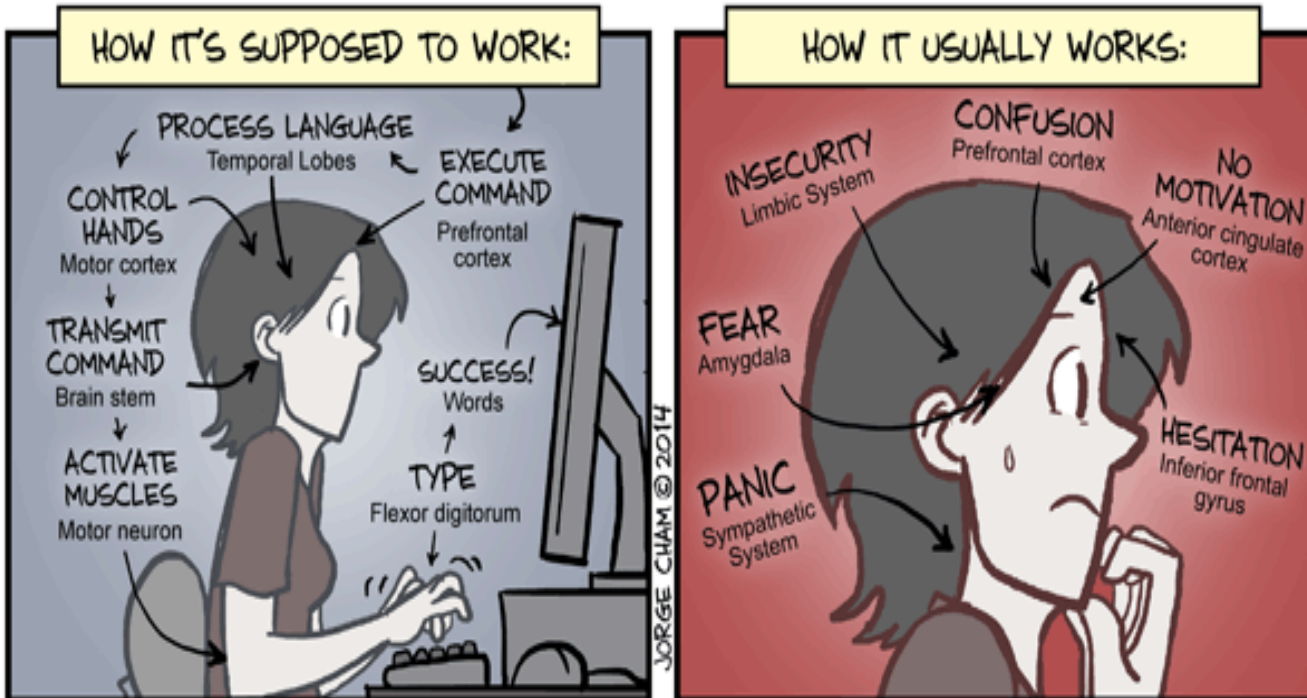


Progetto Radiolab

Potete trovare materiale aggiuntivo sul sito di Radiolab

<https://agenda.infn.it/event/32824/page/6768-materiali-utili>

## THE NEUROBIOLOGY OF WRITING



WWW.PHDCOMICS.COM

## CONTENUTO

- Che cosa ho fatto?
- Che cosa ho capito?
- Perché è importante?

# STRUTTURA

## 10 SEZIONI

1. Pagina iniziale
2. Titolo
3. Abstract
4. Introduzione
5. Metodo
6. Analisi e risultati
7. Discussione
8. Conclusioni
9. Referenze
10. Appendice

# STRUTTURA

## 10 SEZIONI

1. Pagina iniziale
2. Titolo
3. Abstract
4. Introduzione
5. Metodo
6. Analisi e risultati
7. Discussione
8. Conclusioni
9. Referenze
10. Appendice

Deve essere chiaro e sintetico e consentire una rapida identificazione del tipo di attività svolta.

Riassunto del contenuto della relazione, inclusi lo scopo del lavoro, i risultati chiave e le principali conclusioni.



# STRUTTURA

## 10 SEZIONI

1. Pagina iniziale
2. Titolo
3. Abstract
4. Introduzione
5. Metodo
6. Analisi e risultati
7. Discussione
8. Conclusioni
9. Referenze
10. Appendice

Introduce al contesto/  
motivazione del lavoro e  
brevemente riassume  
teorie rilevanti. Presenta  
il problema/l'ipotesi e lo  
scopo del lavoro.

Descrizione della  
strumentazione, materiali  
e procedure utilizzate.  
Una persona che legge la  
relazione dovrebbe  
essere in grado di  
replicare l'esperimento e  
ottenere un risultato  
simile

# STRUTTURA

## 10 SEZIONI

1. Pagina iniziale
2. Titolo
3. Abstract
4. Introduzione
5. Metodo
6. Analisi e risultati
7. Discussione
8. Conclusioni
9. Referenze
10. Appendice

Presentazione dei risultati e discussione dell'analisi dei dati e quando possibile degli errori associati. Può essere utile rappresentare i dati raccolti con grafici e tabelle.

Interpretazione dei risultati in relazione agli scopi, riassunto dei risultati chiave e limiti del lavoro, indicazioni per future misure.

# STRUTTURA

## 10 SEZIONI

1. Pagina iniziale
2. Titolo
3. Abstract
4. Introduzione
5. Metodo
6. Analisi e risultati
7. Discussione
8. Conclusioni
9. Referenze
10. Appendice

Ricordare lo scopo dell'esperimento, riassunto dei risultati in relazione al problema/ ipotesi, identificare implicazioni generali dei risultati («e quindi?»).

Lista di tutte le pubblicazioni citate e del materiale utilizzato per scrivere il testo nella relazione.

Materiale troppo dettagliato per la parte centrale ma utile al per comprendere il vostro lavoro.