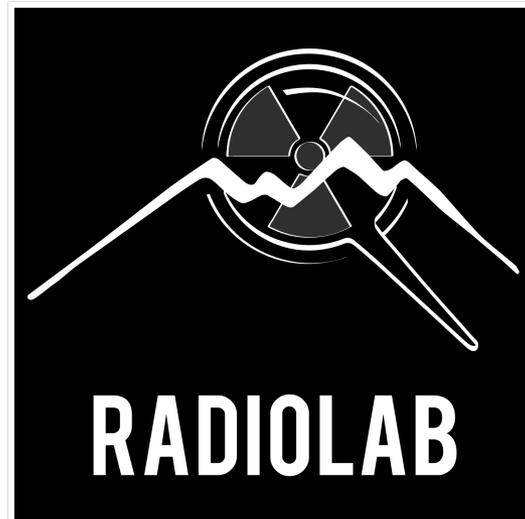


# *Progetto RADIOLAB 2021-2022: Analisi dei dati*



Filippo Varanini

INFN – sezione di Padova



## I NOSTRI DOSIMETRI: CR-39



dimensioni 25 x 25 mm



- ✓ Le particelle  $\alpha$  che attraversano la lastrina del dosimetro “danneggiano” il materiale (ionizzando i suoi atomi):
- ✓ La lastrina sta in un contenitore non ermetico: il Radon (gas estremamente volatile) che sta nell’atmosfera può entrare dalle fessure tra il contenitore e il suo coperchio
- ✓ La scatola protegge da altre fonti di radioattività: la lastrina rivela soltanto tracce prodotte al Radon-222 e dai suoi “figli”

## PROCEDURA SPERIMENTALE

1. Esposizione dei rivelatori
2. Sviluppo chimico dei rivelatori esposti
3. Lettura delle tracce mediante microscopio
4. Determinazione della concentrazione

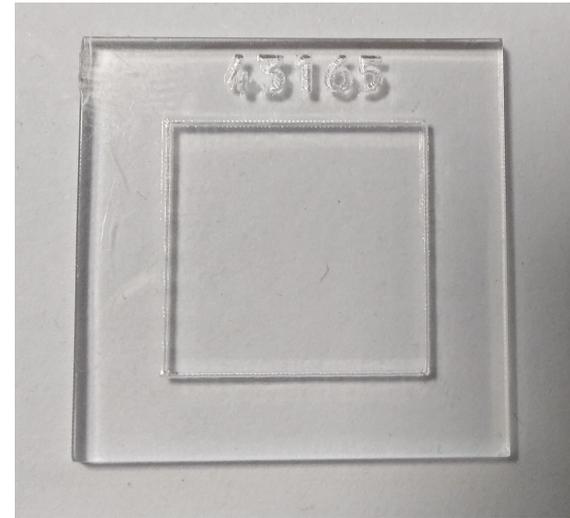


Figura 8.1 – Laboratorio per la dosimetria del Radon



## ESPOSIZIONE DEI RIVELATORI

I nostri dosimetri sono stati esposti per circa 100 giorni in case e altri ambienti normalmente abitati



Avremo anche a che fare con altri dosimetri, la cui funzione vi spiegherò più avanti:

- DOSIMETRI DI CALIBRAZIONE inviati a Milano per essere esposti in camera a Radon
- DOSIMETRI DI TRANSITO inviati a Milano ma NON esposti nella camera
- DOSIMETRI NON ESPOSTI, tenuti “nascosti” per non essere esposti (idealmente) a nessuna radioattività

## SVILUPPO CHIMICO DEI RIVELATORI

Le tracce create dalle particelle alfa sui rivelatori durante l'esposizione hanno dimensioni di qualche nanometro (millesimi di millimetro), invisibili anche per un microscopio ottico

Per renderli visibili, devono subire un trattamento chimico che aumenti la loro dimensione fino a qualche micron (millesimi di millimetro)

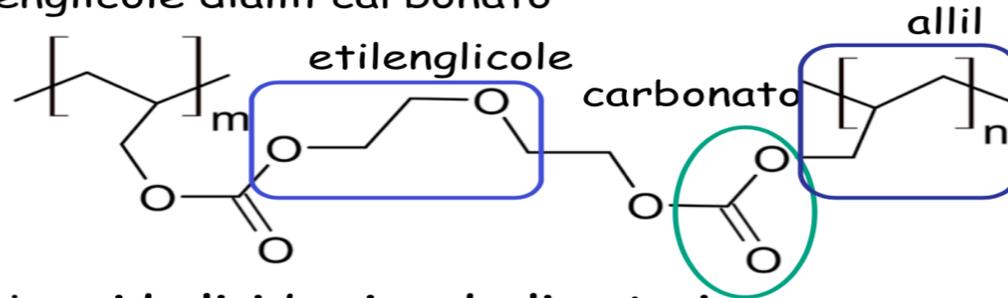


Bagno in soda caustica (soluzione 6-molare di NaOH in acqua) per 5 ore  
Operazione “pericolosa” svolta presso i Laboratori Nazionali INFN di Legnaro

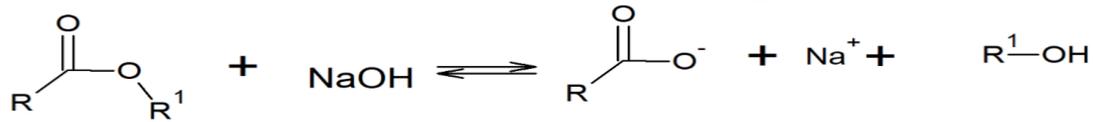
## SVILUPPO CHIMICO DEI RIVELATORI

Andando un po' più nei dettagli chimici, avviene una reazione di *etching*

CR-39 è polietilenglicole diallil carbonato



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



I prodotti di idrolisi sono poi solubili in acqua

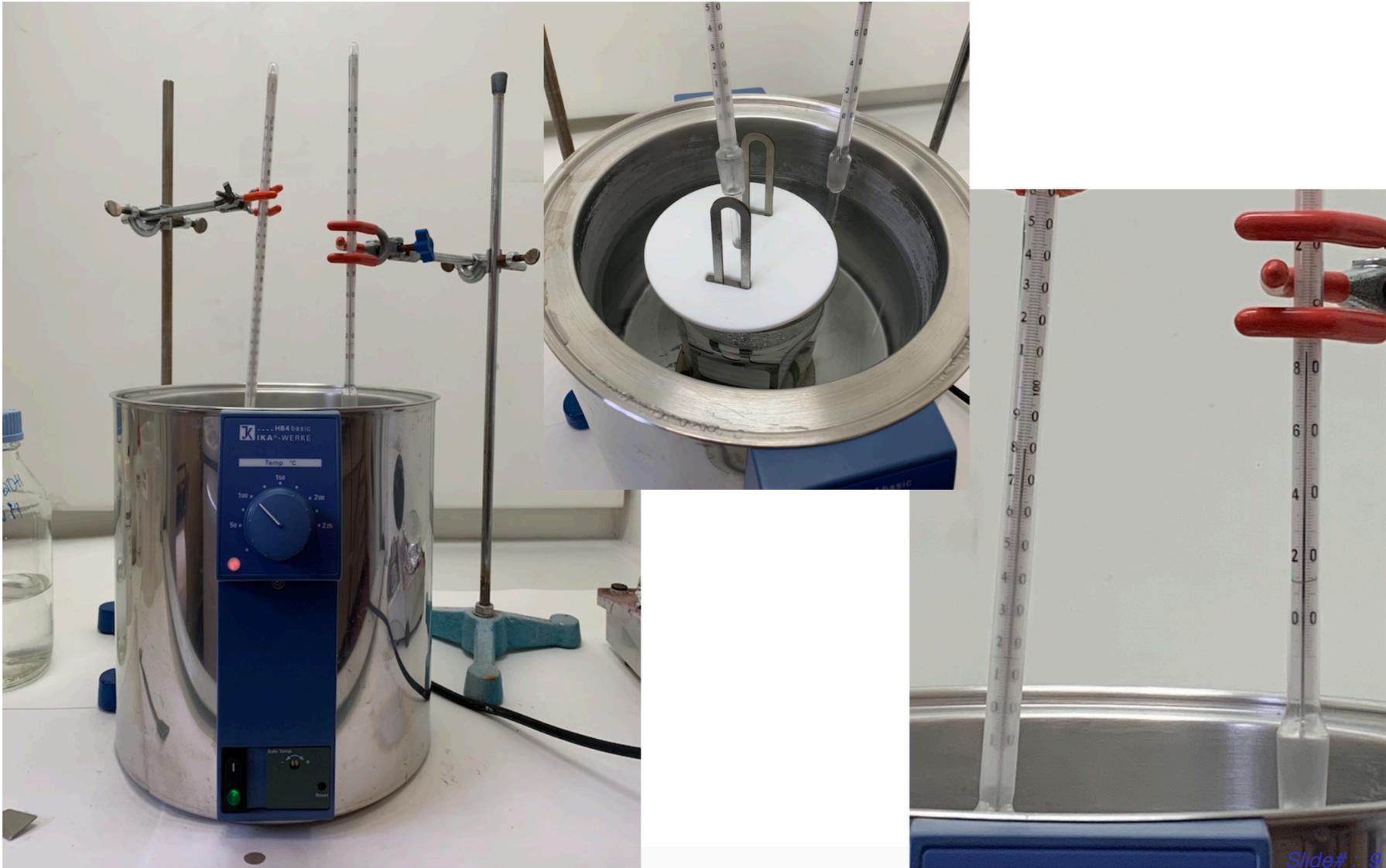
Questa reazione normalmente è “lenta” (scava il CR-39 alla velocità di 1  $\mu\text{m}/\text{h}$ ). Ma se il CR-39 è “danneggiato” da una particella alfa, avviene a velocità più che raddoppiata!

Quindi la reazione ci permette di rivelare il passaggio di tracce nel CR-39

# SVILUPPO CHIMICO DEI RIVELATORI



# SVILUPPO CHIMICO DEI RIVELATORI



## OSSERVAZIONE AL MICROSCOPIO



Ogni lastrina viene osservata al microscopio, e le immagini salvate su file per essere analizzate visivamente (20 foto per ogni lastrina). Ogni foto corrisponde a una piccola frazione della superficie della lastrina ( $0.059 \text{ cm}^2$ )

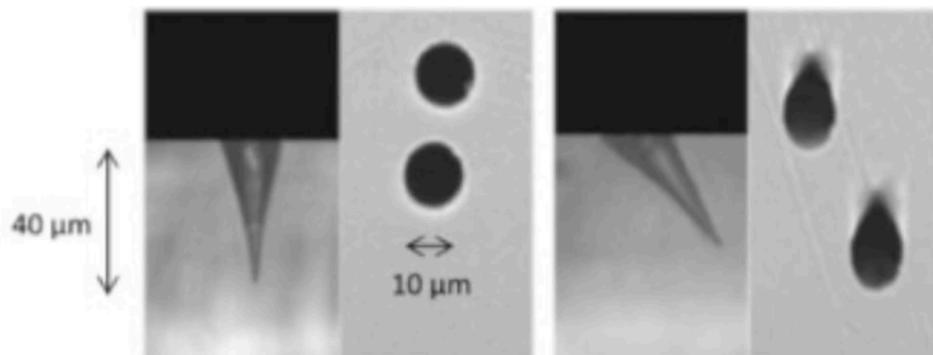
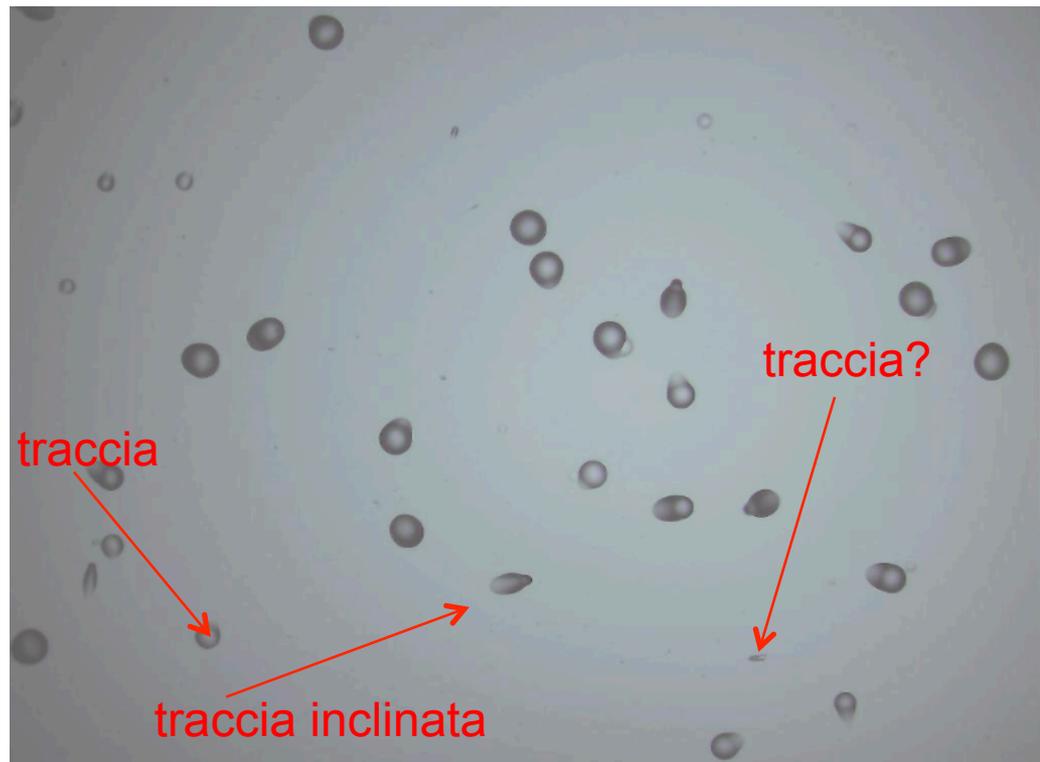
# OSSERVAZIONE AL MICROSCOPIO

Identificazione delle tracce ha qualche ambiguità

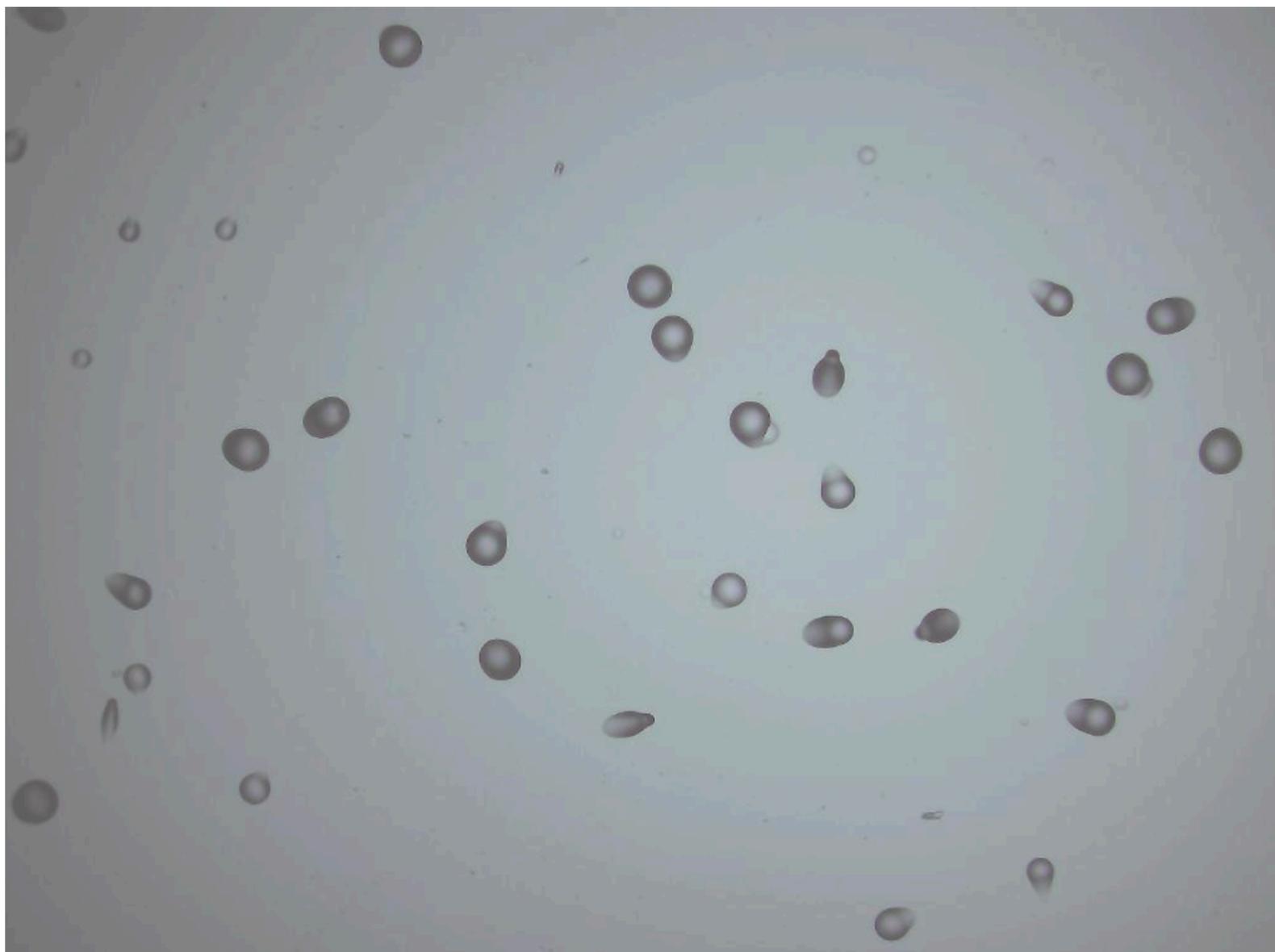
-> importante definire dei criteri il più possibile coerenti e riproducibili

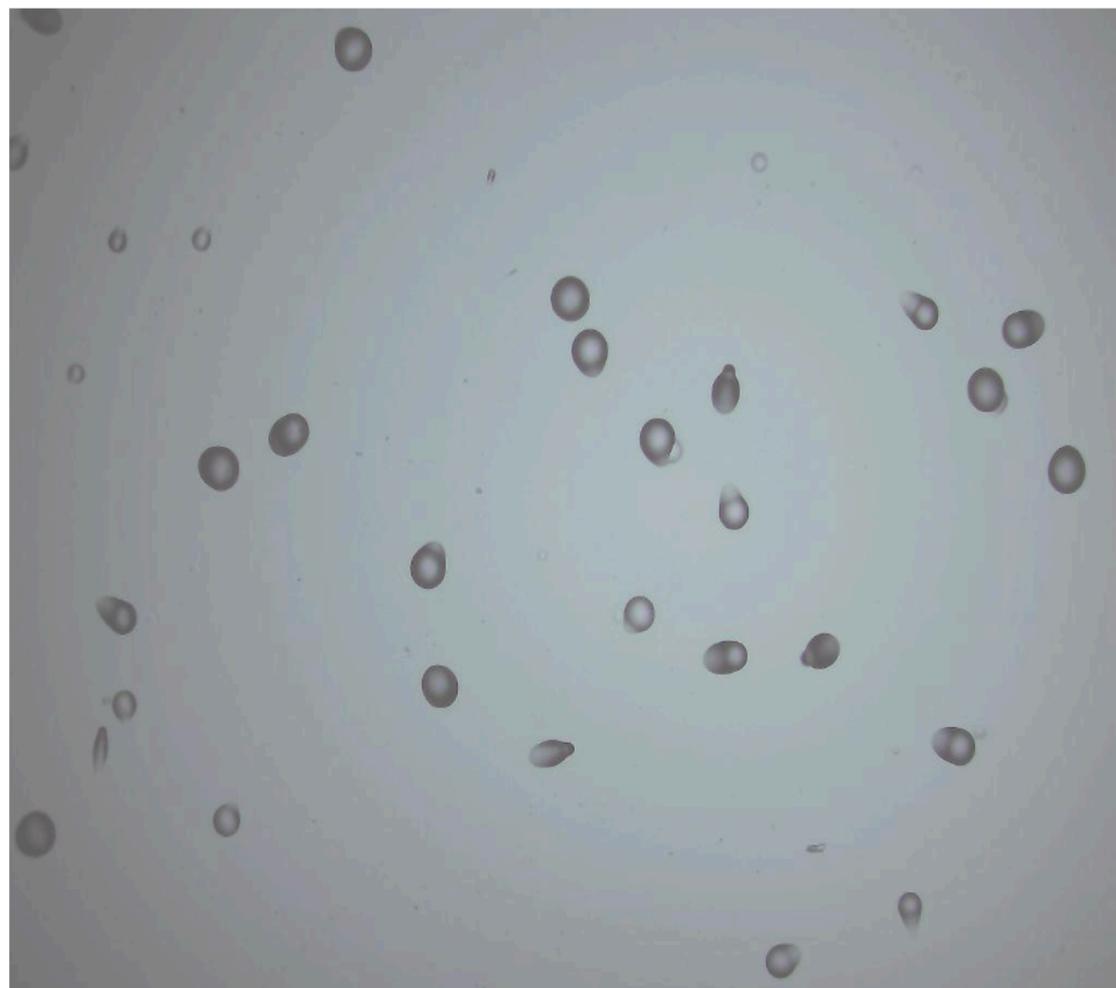
L'area di ogni foto è uguale

-> ci aspettiamo lo stesso numero di tracce IN MEDIA a meno di fluttuazioni statistiche



# QUANTE TRACCE VEDETE IN QUESTA IMMAGINE?





ANTONIO 32  
SABINE 32  
FILIPPO 33  
CHRISTIAN 34

Non è cruciale determinare chi ha “ragione”.

Ogni misura fatta con l’occhio umano (ma anche con uno strumento) potrà tendere a misurare “un po’ troppo” o “troppo poco” (*errore sistematico*).

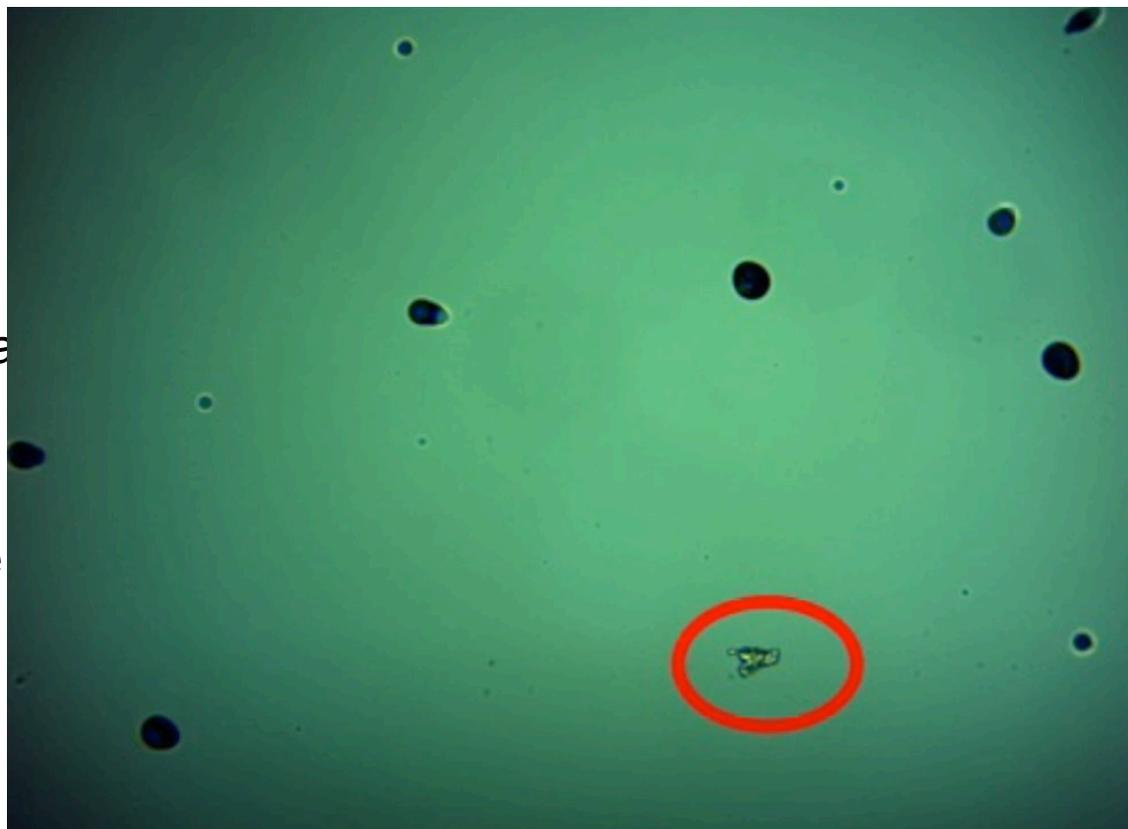
Quello che è cruciale è mantenere gli stessi criteri per TUTTE le immagini che misuriamo!

## ATTENZIONE AGLI ARTEFATTI!

Ogni segnale fisico dovuto a una traccia ha una forma rotonda o ellittica (a goccia)

Segnali diversi come quello evidenziato qui sono probabilmente “artefatti” non dovuti a tracce alfa ma a difetti di fabbricazione della lastrina, e NON vanno contati

La cosa più importante è mantenere gli stessi criteri per ogni immagine che si osserva, in modo da non distorcere la misura

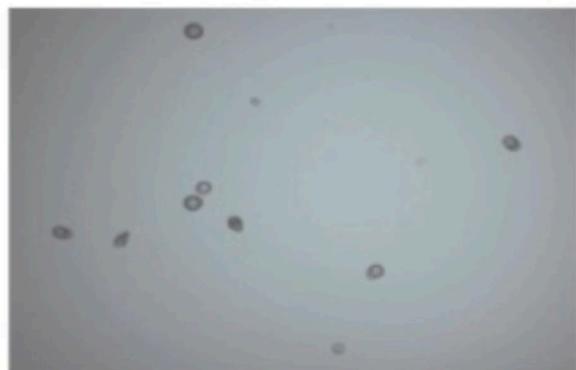


## COME OTTENERE LA CONCENTRAZIONE DI RADON?

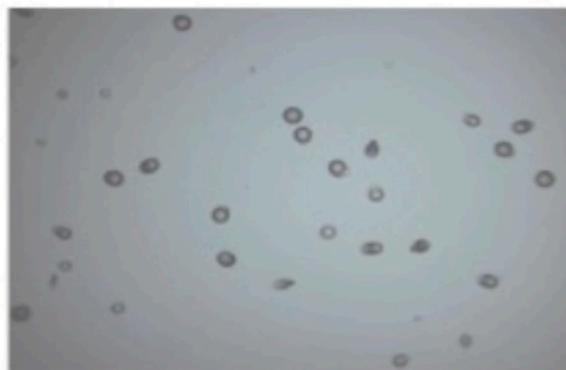
Abbiamo appena imparato a misurare – nel modo più accurato possibile – il numero medio di tracce di particelle alfa in un'immagine.

Ma come trasformare questo numero in una misura di concentrazione di Radon?

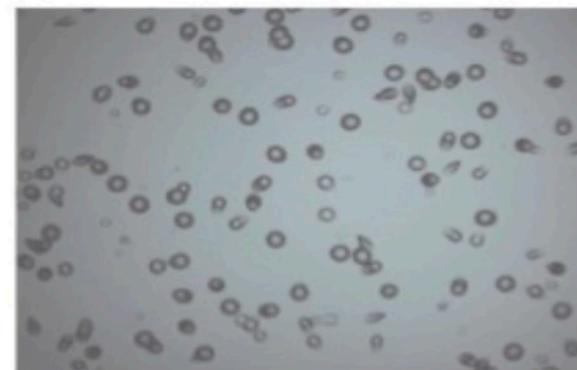
Sappiamo sperimentalmente che più Radon c'è, più le tracce aumentano. Quindi più tracce misuriamo, più alta sarà la concentrazione di Radon.



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



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



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

Ma come facciamo a dire precisamente COME e QUANTO aumentano le tracce all'aumentare della concentrazione di Radon?

Abbiamo bisogno di una CALIBRAZIONE

## COSA E' UNA CALIBRAZIONE?

“Calibrare” un dosimetro significa verificare come “risponde” (quante tracce osserviamo) in un ambiente con concentrazioni di Radon che conosciamo e possiamo controllare bene.

Possiamo scegliere dei valori (esposizioni) di riferimento e così disegnare una curva: il numero di tracce osservate in funzione della concentrazione.

Studiando questa curva, potremmo confrontarci con la quantità di tracce che otteniamo per delle esposizioni ben note, e ricavare l'esposizione sconosciuta che stiamo cercando di misurare.

Un po' come nelle bilance di una volta: misuro una massa ignota, confrontandola con masse del cui valore sono sicuro!



Naturalmente è fondamentale che il confronto sia il più “onesto” possibile. Ogni fase della misura e dell'analisi deve avvenire in modo identico

## DOSIMETRI DI CALIBRAZIONE

A Padova non abbiamo strumenti in grado di fornirci delle atmosfere controllate con concentrazioni di Radon ben note

Abbiamo chiesto una mano al Politecnico di Milano (Laboratorio di Radioprotezione) che ha sviluppato una camera a Radon dove si possono pompare quantità di Radon molto precise

Abbiamo inviato a Milano dei dosimetri (identici ai “vostri”) per studiare la loro risposta a 5 valori di concentrazione (e quindi di esposizione) in tabella

Sono valori estremamente elevati, molto al di sopra delle concentrazioni al limite di legge ( $500 \text{ Bq/m}^3$  per anno)



Esposizione [ $\text{kBq h m}^{-3}$ ]	Incertezza esposizione
$0,560 \times 10^3$	$0.057 \times 10^3$
$1.179 \times 10^3$	$0.119 \times 10^3$
$1.418 \times 10^3$	$0.143 \times 10^3$
$1.962 \times 10^3$	$0.197 \times 10^3$
$2.672 \times 10^3$	$0.268 \times 10^3$

## CONTEGGIO DEI DOSIMETRI DI CALIBRAZIONE

Per ogni valore di esposizione nota, possiamo contare il numero di tracce per vista

Abbiamo anche un dosimetro “di transito” che ha viaggiato insieme agli altri a Milano, ma non è stato esposto nella camera.

Le sue tracce ci danno una misura delle tracce “di fondo”, dovute all’esposizione a fonti di radioattività durante il viaggio e i vari trattamenti da parte nostra

Dobbiamo quindi SOTTRARRE il numero medio di tracce osservate per il dosimetro di transito dal numero medio che abbiamo trovato per ciascuna esposizione.

**Alla fine di questa procedura, otterremo una tabella simile a quella della slide successiva!**

# DETERMINAZIONE DELLA CURVA DI CALIBRAZIONE

Costruiamo quindi un grafico che abbia in ascissa il numero di tracce per vista

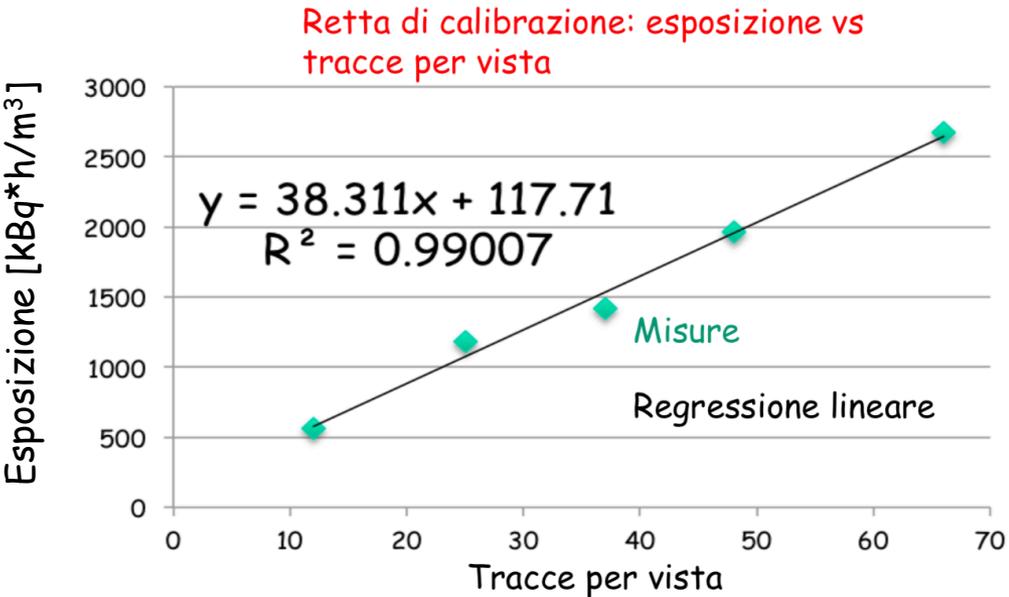
La relazione tra il numero di tracce medio per vista e l'esposizione appare lineare: la curva di calibrazione è (approssimativamente) una retta!

Per essere più precisi, eseguiamo una regressione lineare (per esempio con Excel).

Otteniamo così l'equazione che ci descrive la retta che meglio approssima i nostri punti sperimentali

Il coefficiente  $R^2$  ci dice "quanto bene" la approssima ( $R^2=1$  per una retta "perfetta" senza incertezze sperimentali)

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



## PER I PIU' CORAGGIOSI...

Se qualcuno vuole fare “personalmente” la regressione lineare che Excel fa al suo interno, aggiungo questa slide di calcoli (ringraziando il collega Christian Farnese)

Ovviamente sono a disposizione per un po' di spiegazioni matematiche...

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:

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

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

$$Pendenza = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad Intercetta = \bar{y} - (Pendenza) * \bar{x} \quad R^2 = \frac{S_{xy} * S_{xy}}{S_{xx} * S_{yy}}$$

## DALLA CURVA DI CALIBRAZIONE ALLA MISURA

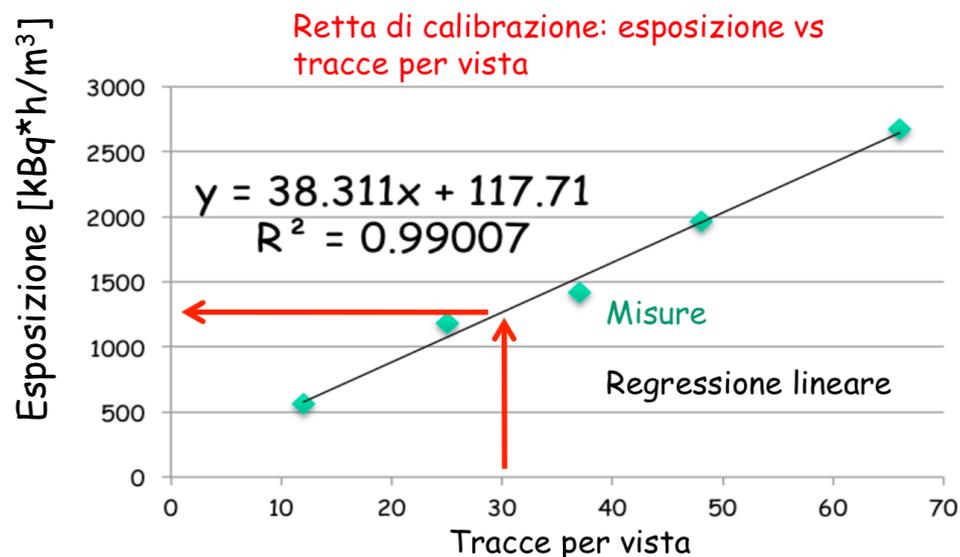
Una volta disegnata la curva di calibrazione, possiamo utilizzarla per ricavare l'esposizione (ignota) del nostro dosimetro.

Dobbiamo però tenere conto delle tracce “di fondo” che il nostro dosimetro potrebbe avere in assenza di radioattività (anche senza aver viaggiato a Milano) a causa per esempio di difetti di fabbricazione.

Per stimare questo numero usiamo un dosimetro NON ESPOSTO, che è rimasto schermato (nei limiti del possibile) da ogni sorgente di radioattività.

Conteremo le sue tracce (probabilmente zero, o quasi) e le sottrarremo dal numero medio di tracce del nostro dosimetro, ottenendo il numero che ci interessa!

Nell'esempio in figura, 30 tracce



# DALLA CURVA DI CALIBRAZIONE ALLA MISURA

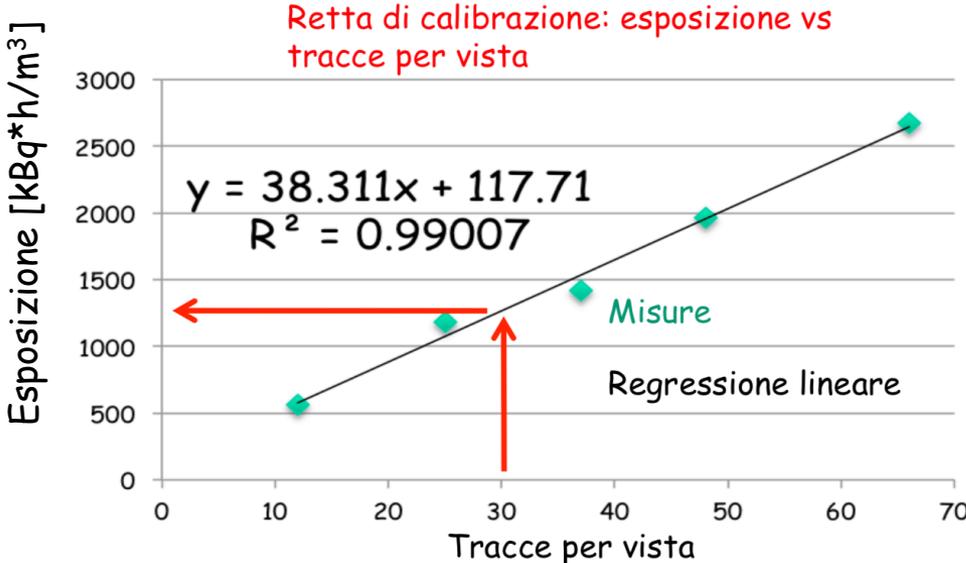
Ora siamo pronti ad ottenere la nostra misura di esposizione!

Prendiamo il numero della slide precedente (media delle tracce nelle foto del nostro dosimetro, meno la media del dosimetro non esposto) e troviamo il valore di esposizione corrispondente

(algebricamente, usando l'equazione della retta, o graficamente con le frecce rosse)

Nel nostro esempio, troviamo circa **1300 kBq\*h/m<sup>3</sup>**

Poi trasformiamo l'esposizione in concentrazione, dividendola per il tempo di esposizione (in ore!)



## INIZIA LA VOSTRA ANALISI...

Domani riceverete un mail con tutto il materiale necessario per svolgere la vostra analisi dei dati.

Ad ogni studente e' stato assegnato un dosimetro (20 foto). Dovra' analizzare queste immagini, oltre a quelle dei dosimetri di calibrazione (compreso quello di transito).

*! dosimetri di calibrazione hanno 10 foto e non 20 -> nessun problema a parte una maggiore incertezza statistica. Ma tenetene conto!*

Nel mail troverete un link contenente:

- Le foto di ciascun dosimetro assegnato agli studenti
- Un file excel contenente gli abbinamenti dosimetro-studente
- Le foto dei dosimetri di calibrazione

*Prendete nota di ogni domanda o dubbio!*

*Nel prossimo incontro (27 gennaio) ci ritroveremo per cercare di chiarirli.*

**BUON LAVORO!**