

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali

Relazione per la prova finale
«Studio della permeabilità e tortuosità di letti
granulari impaccati»

Tutor universitario: Prof. Andrea C. Santomaso

Laureando: *Davide Gaffo*

Padova, 26/09/2023

Il tirocinio è stato svolto nell'APT lab, luogo in cui l'obiettivo è quello di studiare diversi aspetti della tecnologia delle particelle e mira a risolvere problemi di manipolazione e lavorazione.

Poiché le proprietà di massa sono influenzate dalle proprietà delle singole particelle, vengono indagati i collegamenti tra le proprietà microscopiche e macroscopiche dei materiali granulari.

APT Lab

L'obiettivo del tirocinio è quello di misurare le dimensioni delle particelle con varie tecniche di analisi per essere in grado di caratterizzare unicamente il diametro di materiali granulari.

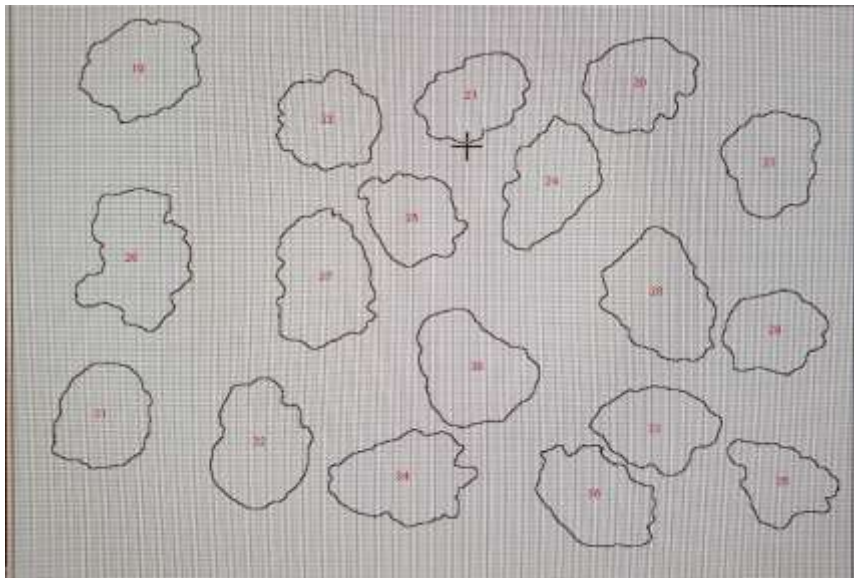
Le tecniche utilizzate sono:

- Analisi di immagine
- Misure di permeabilità

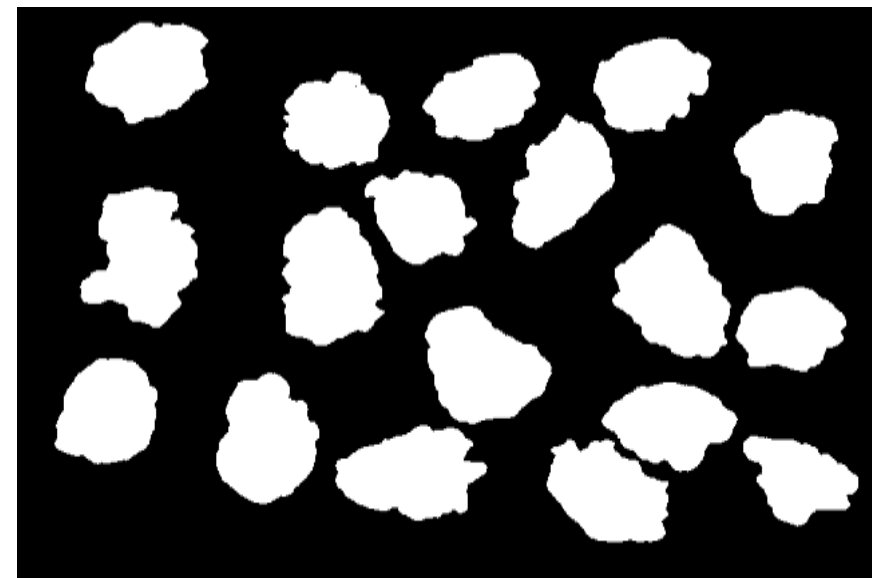
Sono inoltre state fatte delle misure della tortuosità avendo come obiettivo quello di trovare una relazione che espliciti l'influenza che quest'ultima ha sul calcolo delle dimensioni.

L'analisi d'immagine è una tecnica utilizzata per estrarre informazioni quantitative da immagini digitali, ovvero caratterizza la dimensione e la forma delle particelle.

Le immagine analizzate vengono raccolte utilizzando una fotocamera e un software apposito.

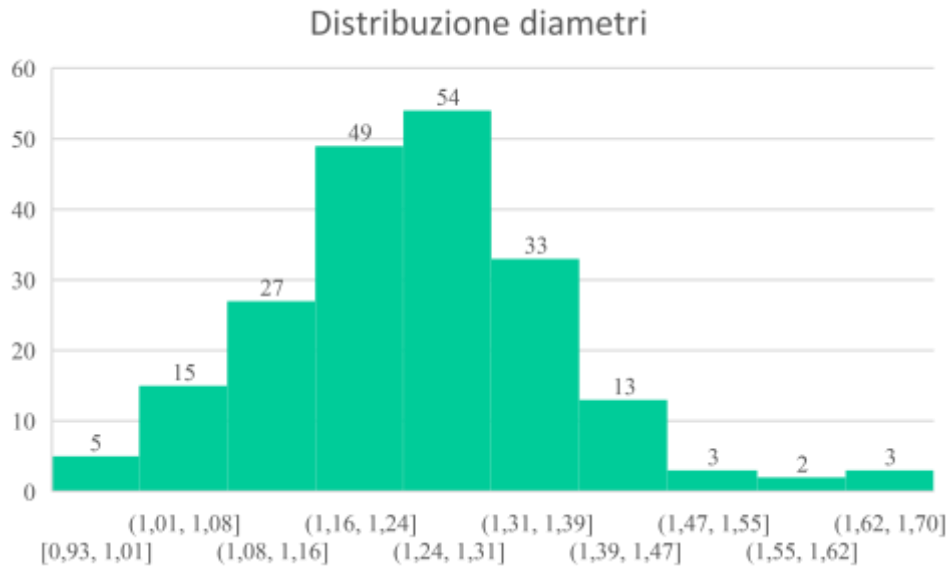


Outlines cous cous



Treshold cous cous

Vengono poi diagrammati i singoli diametri appena ottenuti delle particelle per ottenere i grafici della frequenza, grazie ai quali è stato possibile calcolare il diametro di Sauter:



$$x_{32} = \frac{\sum x_i^3 f(m)_i}{\sum x_i^2 f(m)_i}$$

La permeabilità è la capacità di un corpo di farsi attraversare da liquidi o gas.
L'esperimento per misurarla è si è svolto mediante l'uso di:



*Flussimetro
(SMC PFM7)*

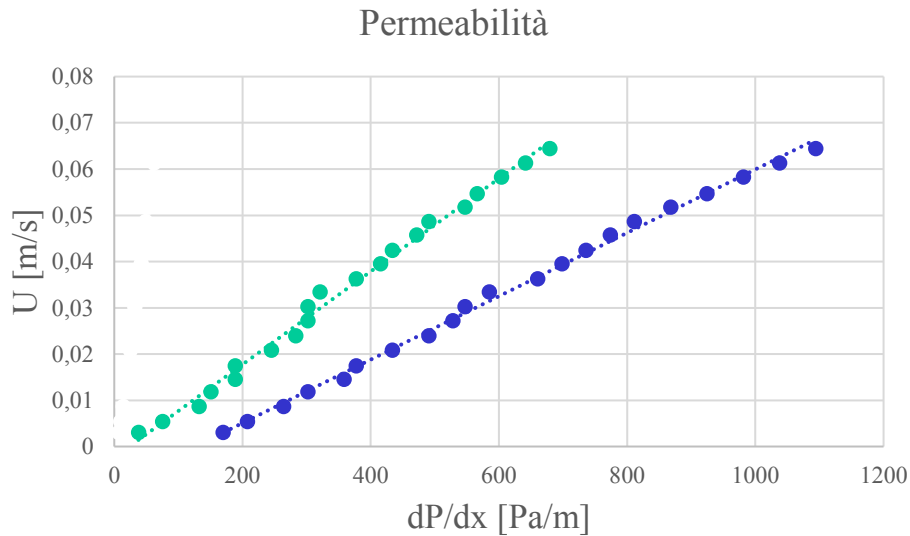


*Manometro
(testo 510i)*



*Permeametro
(autocostruito)*

Con la differenza di pressione ΔP si calcola la permeabilità con la legge di Darcy:

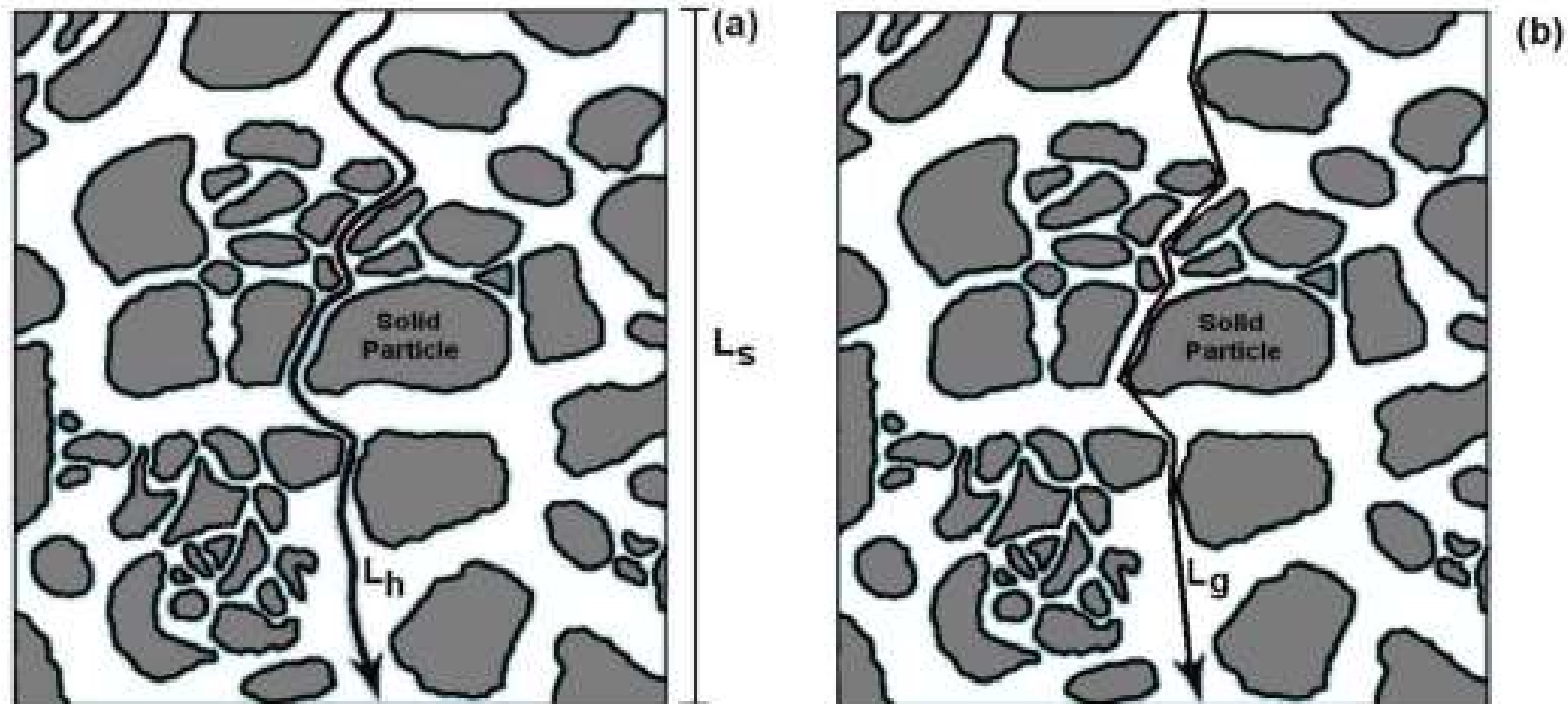


$$U = k \frac{dP}{dx}$$

Successivamente si calcola il diametro equivalente con l'equazione di Kozeny-Carman:

$$x_{\Delta p} = \sqrt{180 \frac{\mu_f (1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{1}{\frac{1}{U} \frac{\Delta P}{L}}}$$

Viene ora analizzata la tortuosità, una proprietà specifica di ogni materiale poroso la quale dipende da struttura, forma del grano e dal grado di impaccamento del letto.

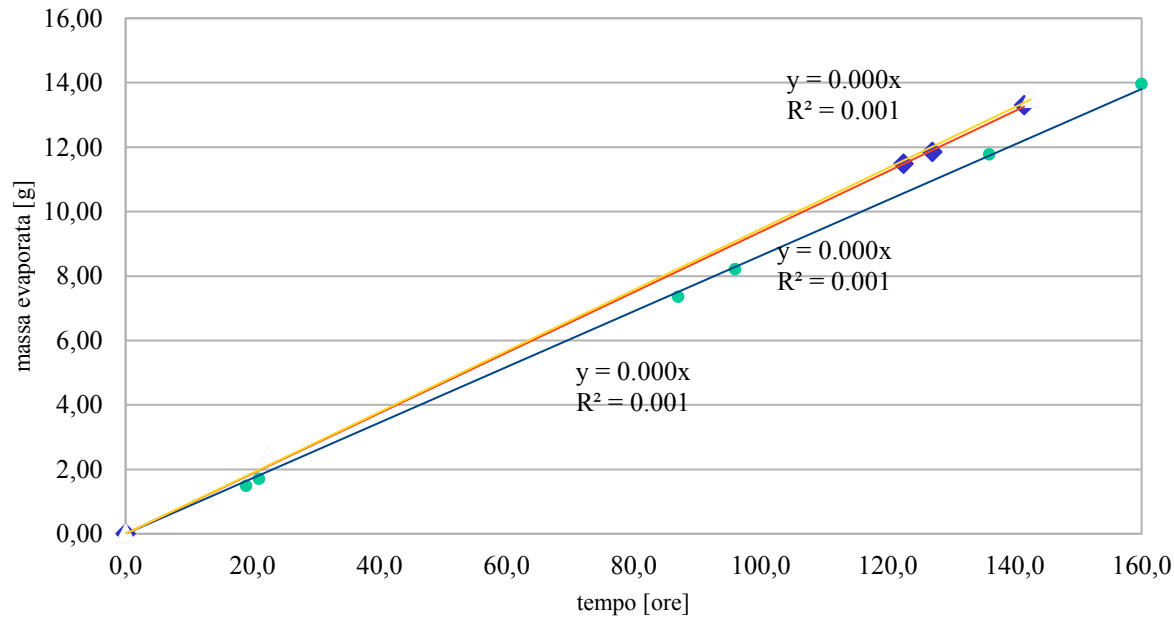


*Tipo di tortuosità considerata
(diffusiva)*

Esempio di tortuosità geometrica

L'esperimento è stato svolto riempiendo la parte inferiore del permeametro con etanolo e il contenitore di quest'ultimo di granulati farmaceutici, pesando a intervalli di tempo regolari lo strumento, misurando dunque, quanta massa di etanolo evaporava.

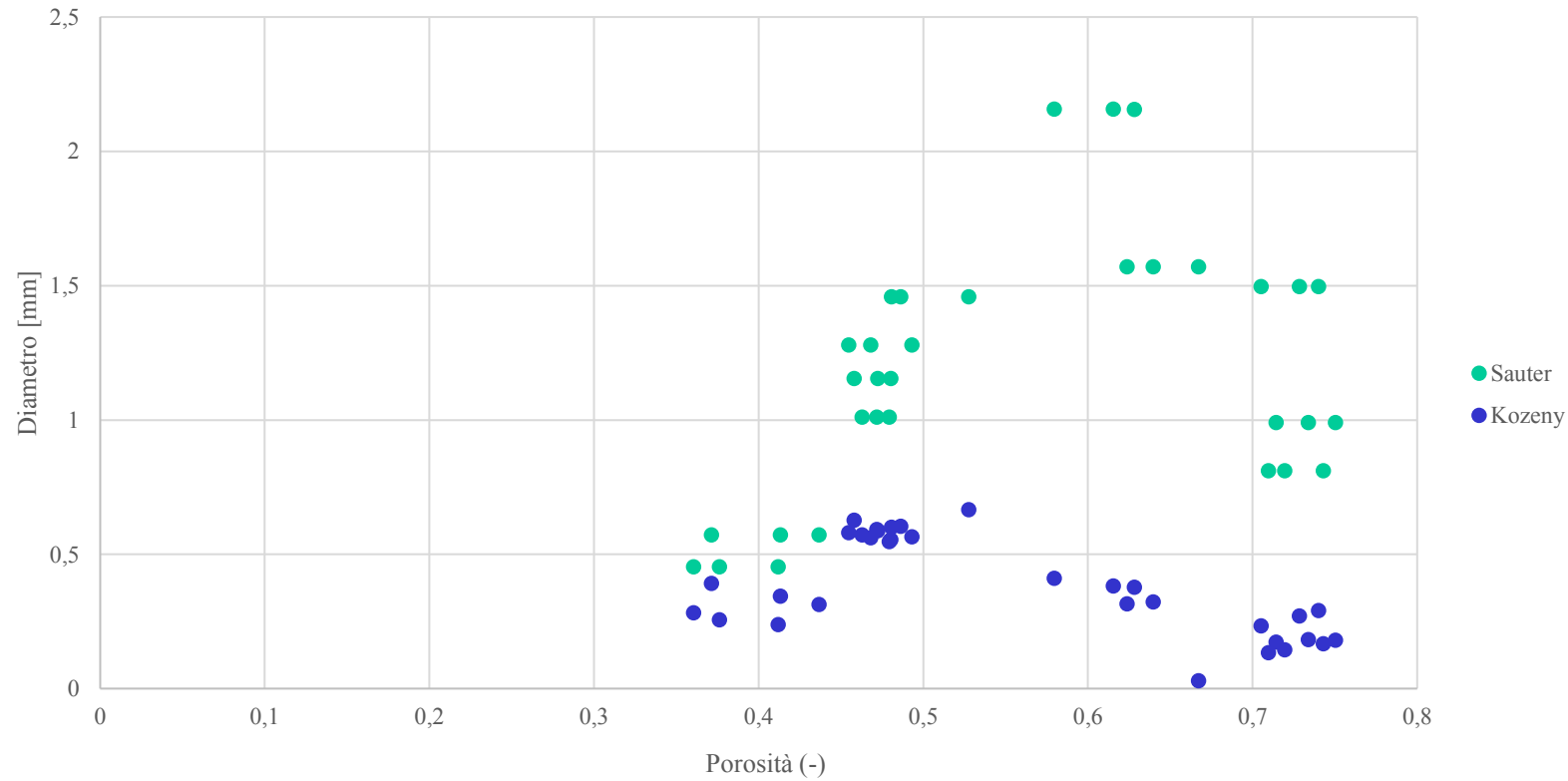
L'esperimento è stato ripetuto per tre volte con vari valori di porosità ottenendo tre diversi valori di tortuosità.



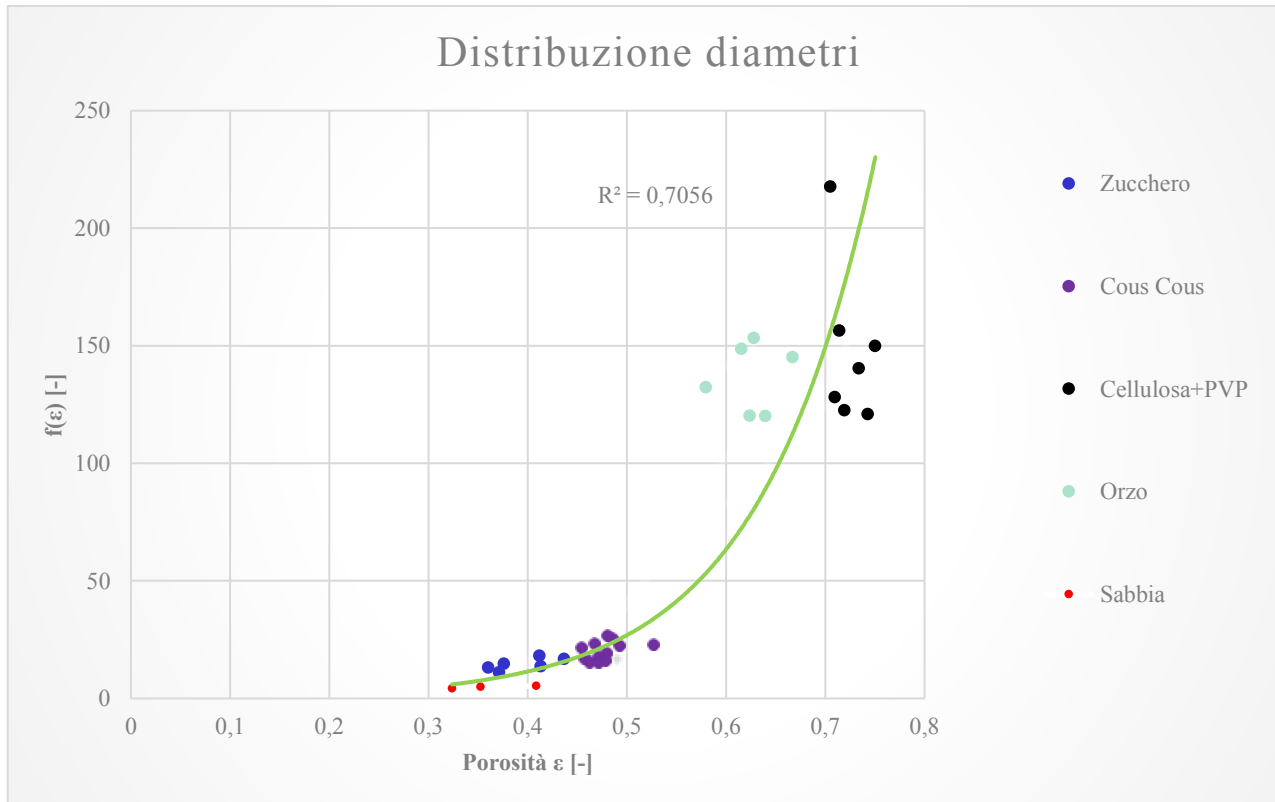
$$\tau_d = D_{AB} / D_{eff}$$

$$D_{eff} = \frac{\Delta m * L}{\Delta t * S * PM_{EtOH}}$$

I diametri ottenuti sperimentalmente di Sauter e Kozeny a primo impatto assumono una distribuzione casuale gli uni rispetto agli altri:

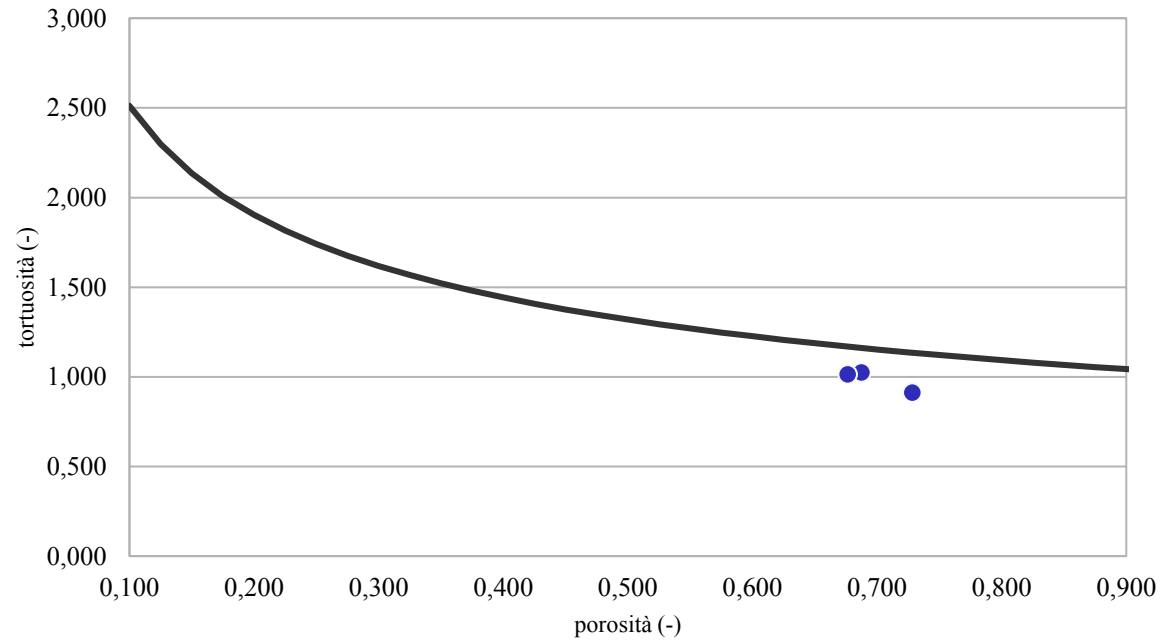


Si è dunque calcolata una funzione della porosità $f(\varepsilon)$ in grado di correlare i due diametri, risultando in un andamento esponenziale:



$$x_{\Delta P} = \left[36 * f(\varepsilon) * \mu_f * \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} * K \right]^{0,5}$$

I valori di tortuosità misurati vengono descritti in maniera soddisfacente dalla legge di potenza empirica di Mota:



$$\tau = \varepsilon^{-0,4}$$

Concludendo, questa esperienza ha permesso di approfondire la relazione esistente tra dimensioni delle particelle, porosità e tortuosità.

I risultati ottenuti possono essere uno spunto per future ricerche nell'utilizzo di materiali granulari in processi industriali.

