

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali

***Relazione per la prova finale***  
***«Effetto della granulometria sulla  
permeabilità e tortuosità di letti  
granulari impaccati»***

Tutor universitario: Prof. Andrea C. Santomaso

Laureando: *Branz Carlo*

Padova, 11/07/2023

L'attività di tirocinio è stata svolta presso il laboratorio di solidi granulari APTLab, del Dipartimento di Ingegneria Industriale.



L'obiettivo è stato quello di caratterizzare le dimensioni delle particelle dei materiali granulari. Attraverso tre differenti tecniche di analisi:

- Setacciatura
- Analisi d'immagine
- Misure di permeabilità

Determinare i valori di tortuosità di un letto granulare impaccato, correlandoli alla porosità.

- Tecnica diffusiva

La tecnica della setacciatura è stata utilizzata per determinare la distribuzione delle dimensioni delle particelle.

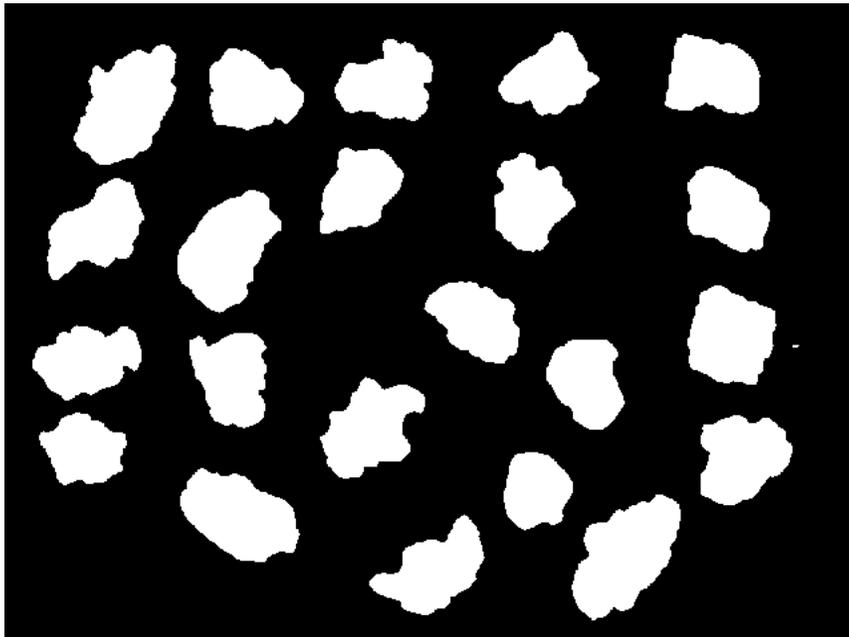


*Setacciatore*

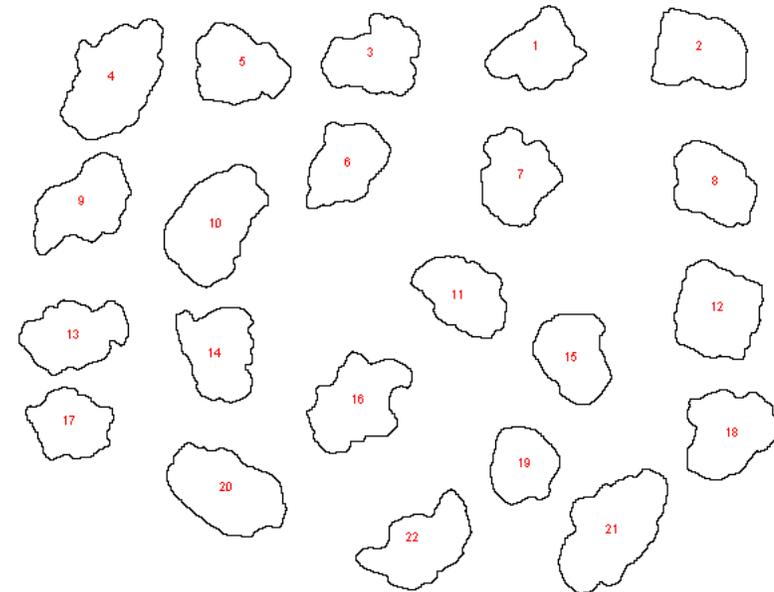
L'analisi d'immagine è una tecnica di osservazione diretta che caratterizza la dimensione e la morfologia delle particelle .

Si basa sull'utilizzo di una fotocamera e un software apposito.

Fornisce informazioni relative alle particelle come area proiettata e circolarità

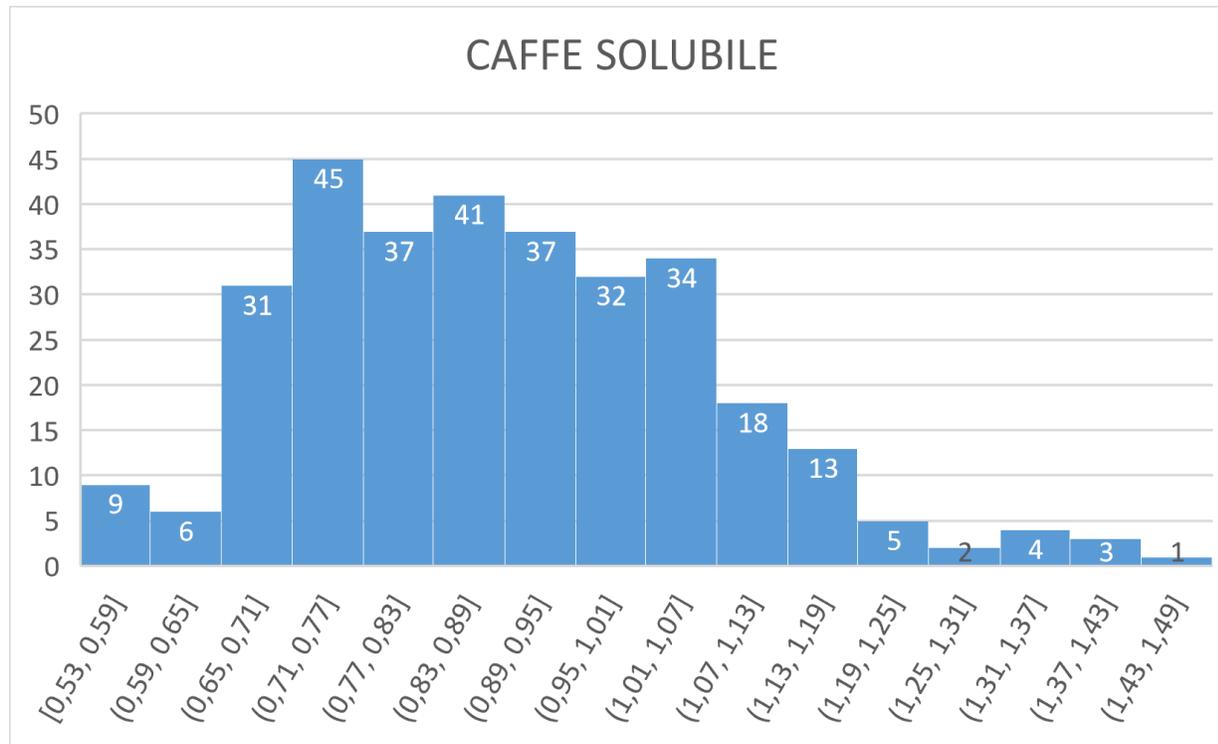


*Cous Cous*



*Cous Cous*

Dai diametri delle singole particelle ottenuti dall'analisi d'immagine si costruiscono dei diagrammi di frequenza, grazie ai quali è possibile calcolare il diametro di Sauter.



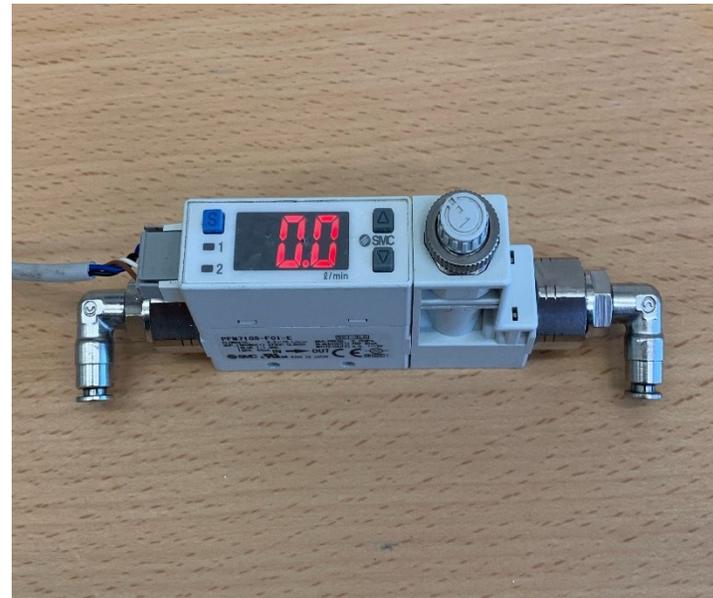
$$x_{32} = \phi_c^{1.5} \cdot \frac{\sum f(x_s) \cdot x_s^3}{\sum f(x_s) \cdot x_s^2}$$

La permeabilità rappresenta la capacità di un materiale di essere attraversato da un fluido.

Ogni materiale considerato è stato inserito in un letto cilindrico con diversi gradi di impaccamento, una portata d'aria lo attraversa determinando una perdita di pressione ( $\Delta P$ )



*Permeametro*



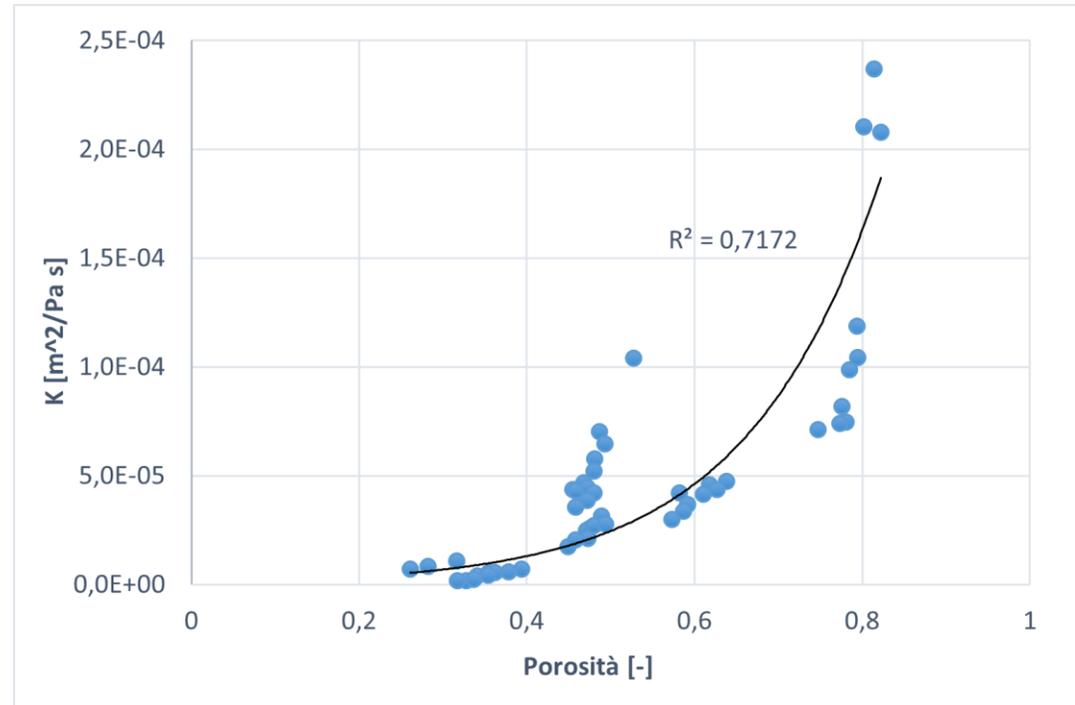
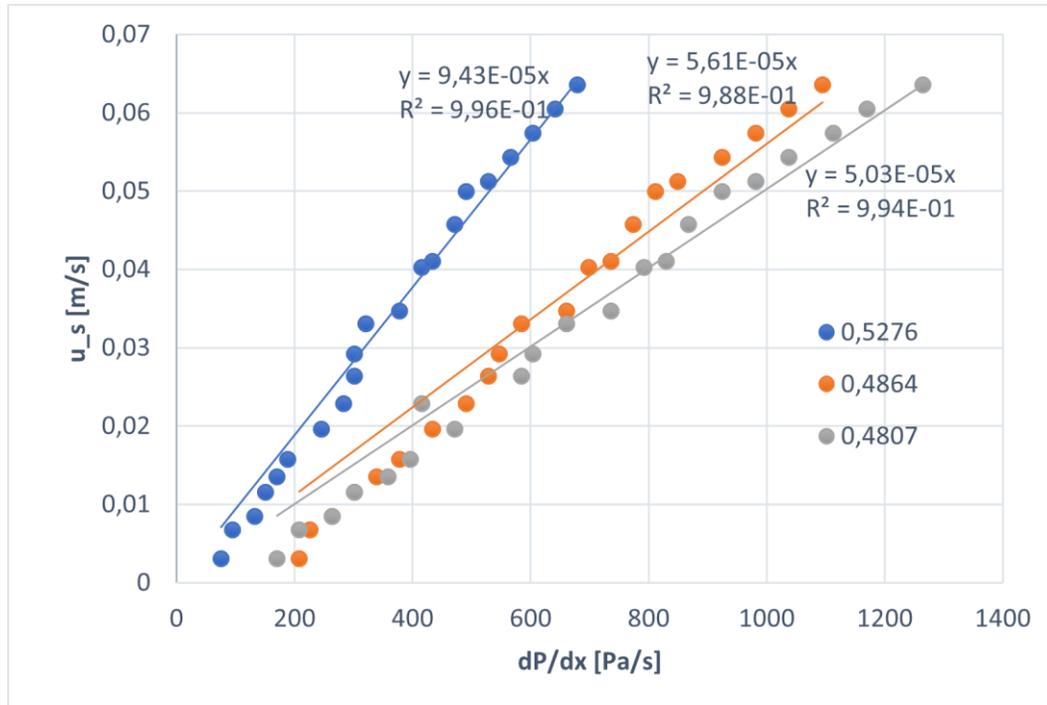
*Flussimetro*



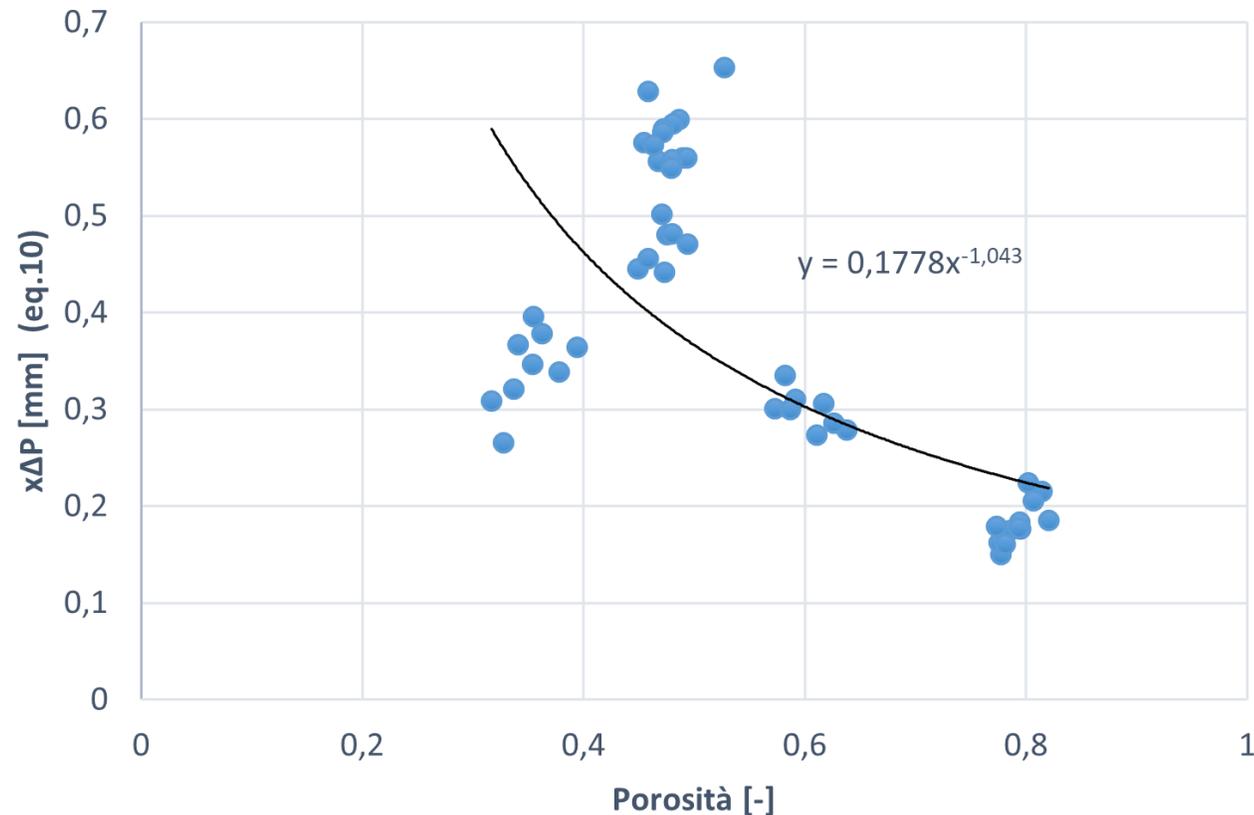
*Manometro*

Grazie alle misure di  $\Delta P$  è possibile determinare il valore della permeabilità  $K$  tramite la relazione di Darcy :

$$K = \frac{L}{\Delta P} \cdot u_s$$



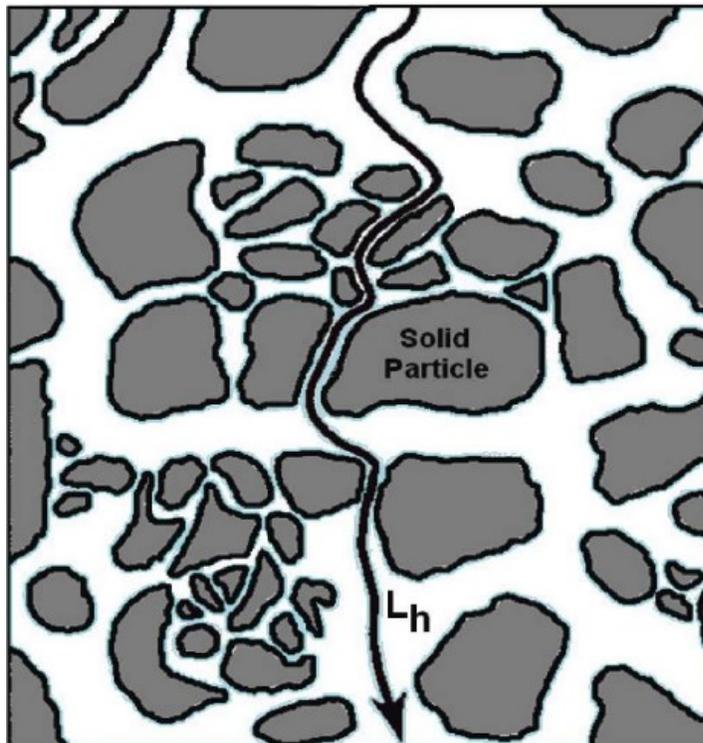
Grazie alla relazione di Kozeny-Carman è possibile determinare il diametro sferico equivalente  $x$ :



$$\frac{\Delta P}{L} = 180 \cdot \frac{\mu_f}{x^2} \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot u_s$$

Nel secondo esperimento si è cercato di determinare il valore della tortuosità.

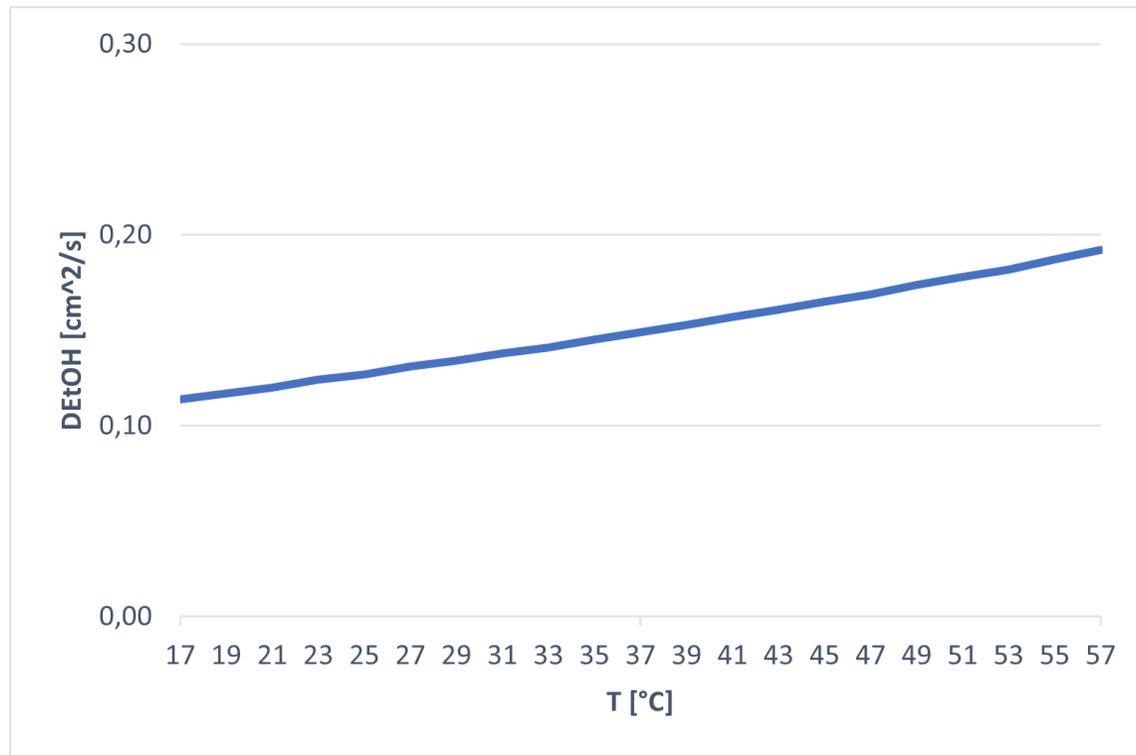
La tortuosità è una proprietà specifica di ogni mezzo poroso e dipende dalla sua struttura, dalla forma e dalla disposizione delle particelle.



$$\tau = \frac{\langle L_h \rangle}{L_s}$$

La tortuosità è stata valutata determinando la diffusività effettiva dell'etanolo all'interno di un letto granulare impaccato in una cella di diffusione.

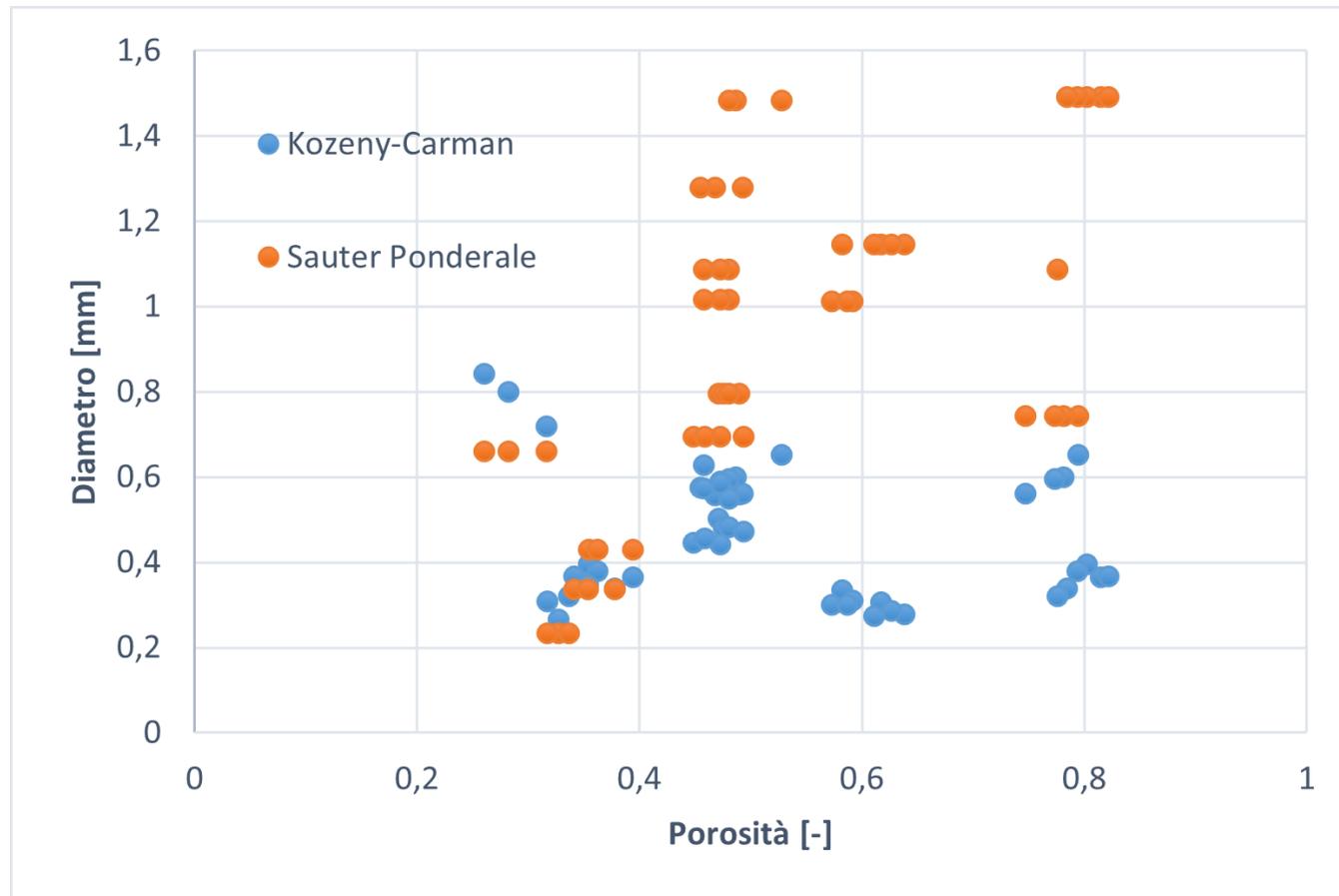
La massa di etanolo presente nella camera inferiore evaporava, ed è stata misurata più volte nel tempo per diversi valori di porosità.



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

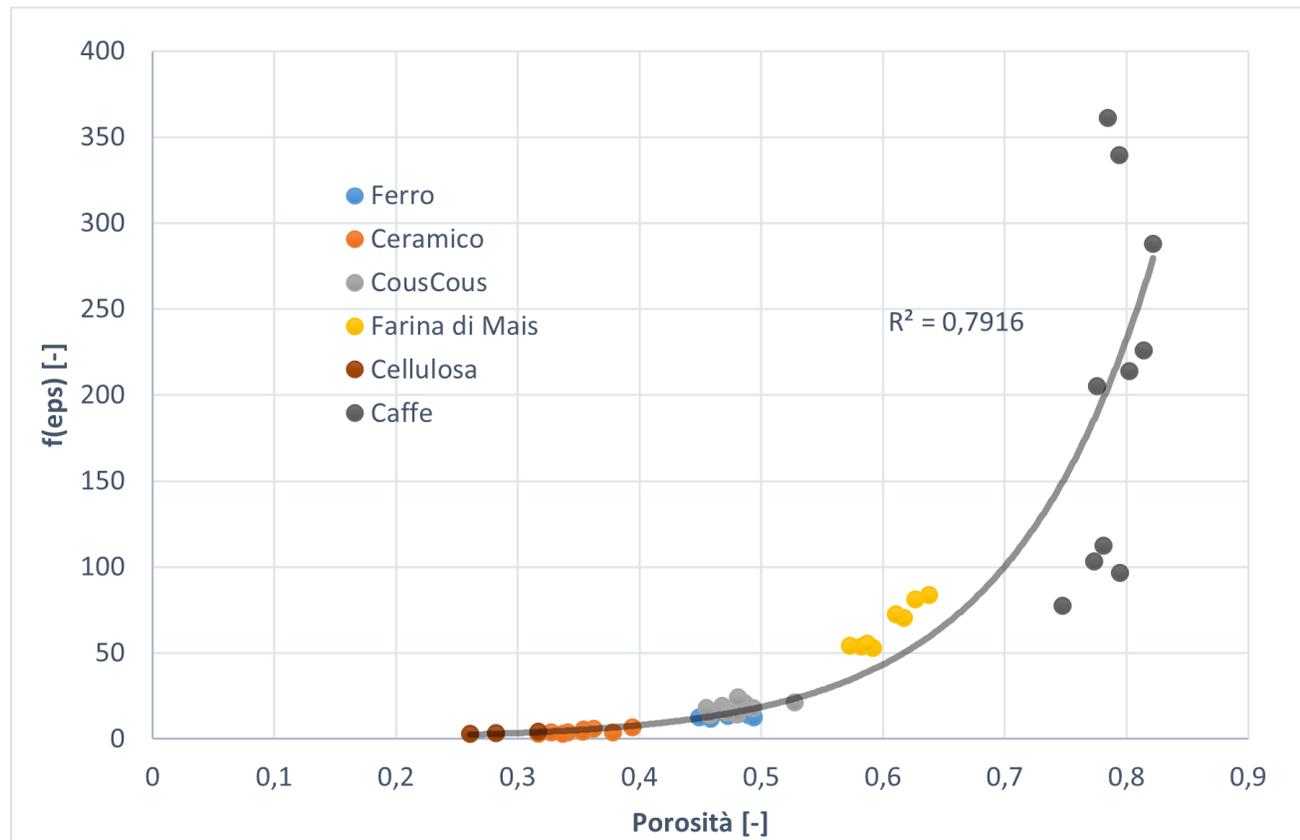
$$\tau = \frac{D_{AB}}{D_{eff}}$$

I dati ottenuti sperimentalmente per lo stesso campione differiscono tra loro in maniera apparentemente casuale, non c'è una corrispondenza diretta tra il diametro di Sauter e il diametro di Kozeny.



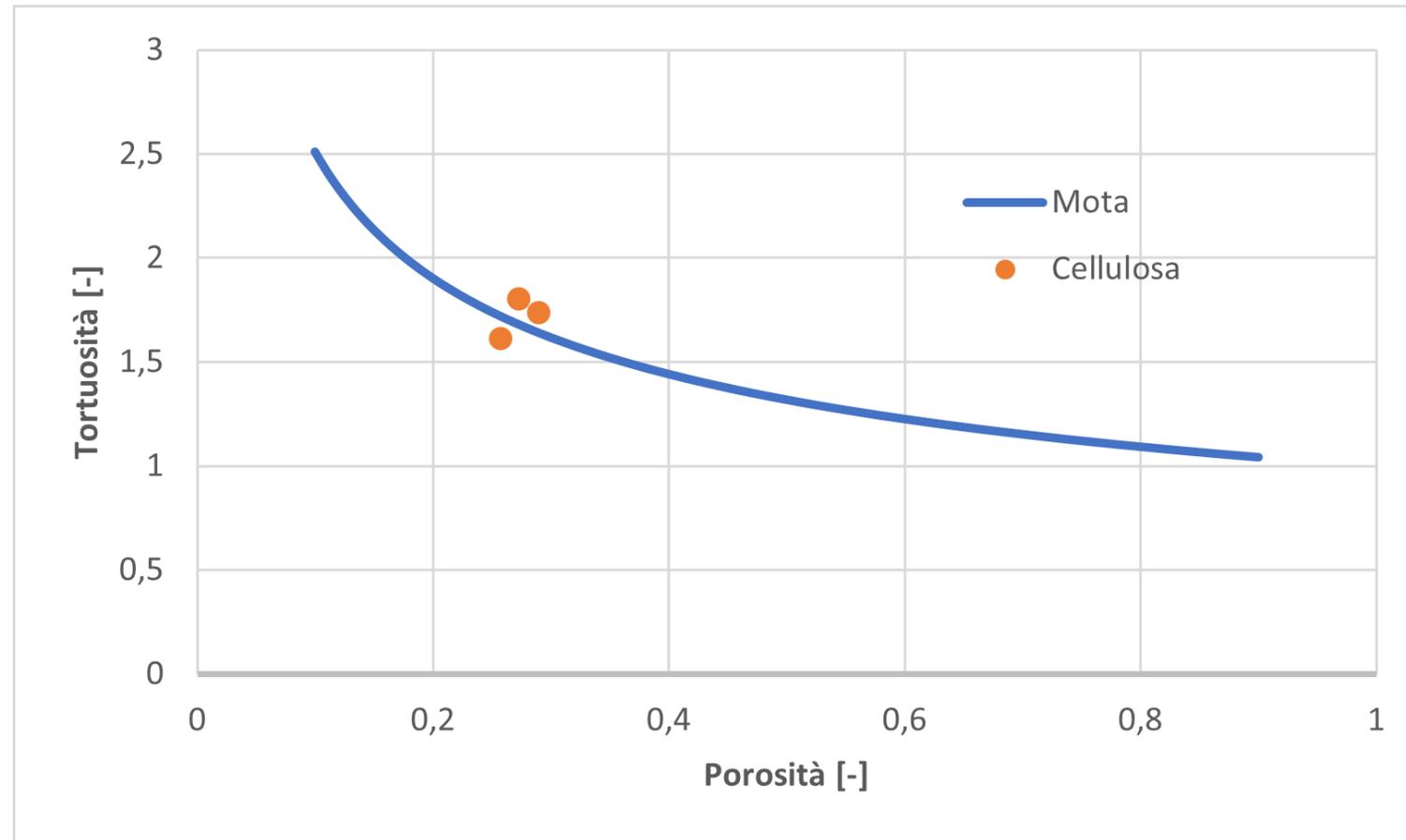
E' possibile ricavare una funzione della porosità che corregge il diametro di permeabilità.

La seguente funzione tiene in considerazione dell'impaccamento del letto mantenendo l'indipendenza del diametro dalla porosità



$$x_{\Delta P} = \left[ 36 \cdot f(\varepsilon) \cdot \mu_f \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot K \right]^{0.5}$$

I dati raccolti durante l'esperimento vengono rappresentati bene dalla legge di potenza empirica di Mota.



$$\tau = \varepsilon^{-0.4}$$

Gli esperimenti ci hanno permesso di determinare importanti relazioni tra dimensioni ottenute da tecniche differenti coinvolgendo grandezze come porosità e tortuosità.

I risultati possono essere di rilevanza per l'ottimizzazione dei processi industriali, aprendo nuove prospettive di studio e ricerca in questo settore.

