

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria chimica e dei materiali

***Relazione per la prova finale  
«Metodi di indentazione rapida per la  
determinazione della scorrevolezza  
delle polveri tramite l'utilizzo di una  
telecamera veloce»***

Tutor universitario: Prof. Andrea C. Santomaso

Laureando: *Mattia Fadin*

Padova, 16/07/2024

L'attività di tirocinio si è svolta presso l'APTLab, nella sede M del dipartimento di ingegneria industriale per un totale di 225 ore.

L'APTLab (Advanced Particle Technology Laboratory) si occupa principalmente di :

- Analisi granulometrica con vagliatura
- Misura di densità apparenti: versata, battuta e aerata
- Angolo di riposo e scorrevolezza delle polveri
- Granulazione ad umido in granulatore HSWG
- Test con cella di taglio
- Verifica della portata di scarico a gravità
- Morfologia delle particelle con analisi d'immagine



L'obiettivo del tirocinio è lo studio della reologia delle polveri in base alla loro risposta all'indentazione a diversi gradi di compattazione.

Le tecniche utilizzate sono:

- Consolidamento
- Indentazione dinamica con sfera
- Analisi d'immagine tramite telecamera veloce

Il consolidamento è il processo di riduzione del volume dei materiali granulari sotto l'azione di carichi applicati, portando a un aumento della densità del materiale.

Come sforzi son stati scelti: 1,3,5,7,9 kPa.

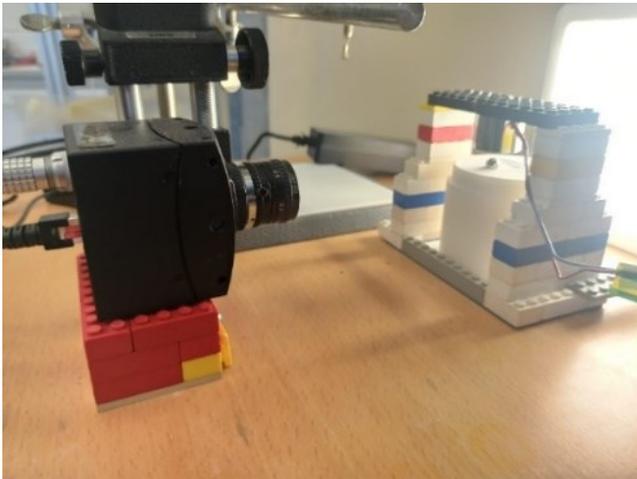


*Immagini raffiguranti gli step di consolidamento*

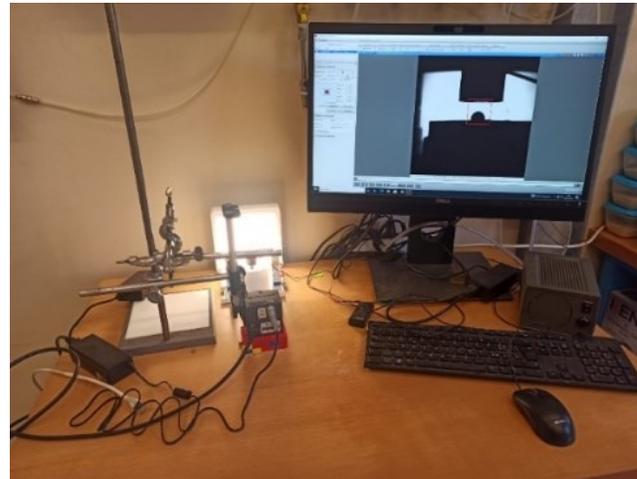
L'indentazione dinamica è una tecnica tramite cui un indenter viene rilasciato ad una predeterminata altezza e lasciato accelerare sotto l'effetto della gravità con il fine di determinare la durezza dinamica ( $H_d$ ).

$$H_d = \frac{Mv_i^2}{2U}$$

Per l'esperimento come indenter son state scelte due sfere di acciaio dal diametro di 6mm e 8mm.



*Telecamera veloce (IX iS-2S-220-C-2)*



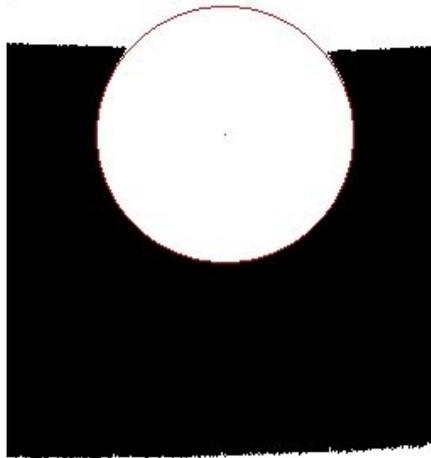
*Set-up sperimentale*



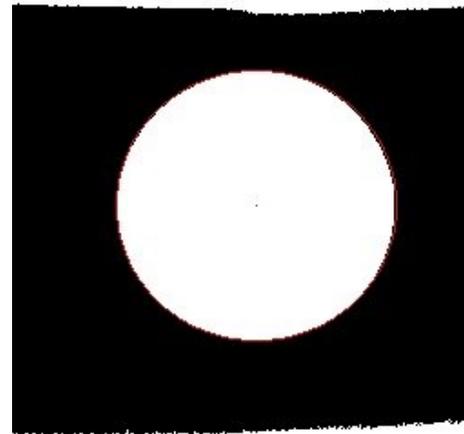
*Esempio di cratere dopo l'impatto*

L'analisi d'immagine è una tecnica mediante cui da immagini digitali si riescono ad ottenere informazioni significative.

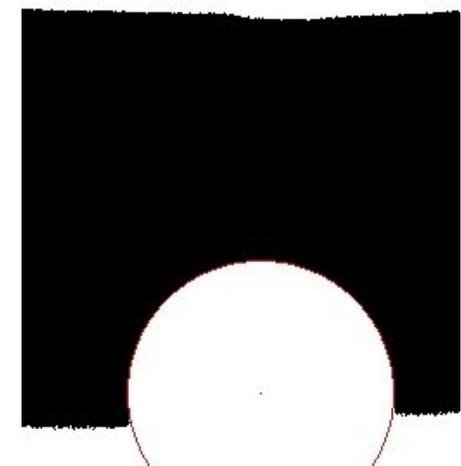
Per l'esperimento son stati utilizzati una telecamera veloce (*IX iS-2S-220-C-2*) e uno script Python in grado di seguire istante per istante il moto della sfera.



*Fase iniziale di caduta*



*Fase intermedia di caduta*



*Fase finale di caduta*

Dai frames analizzati il software forniva le seguenti informazioni :

- Altezza iniziale
- Penetrazione massima
- Area di indentazione
- Volume del cratere
- Velocità di impatto
- Lavoro compiuto

```

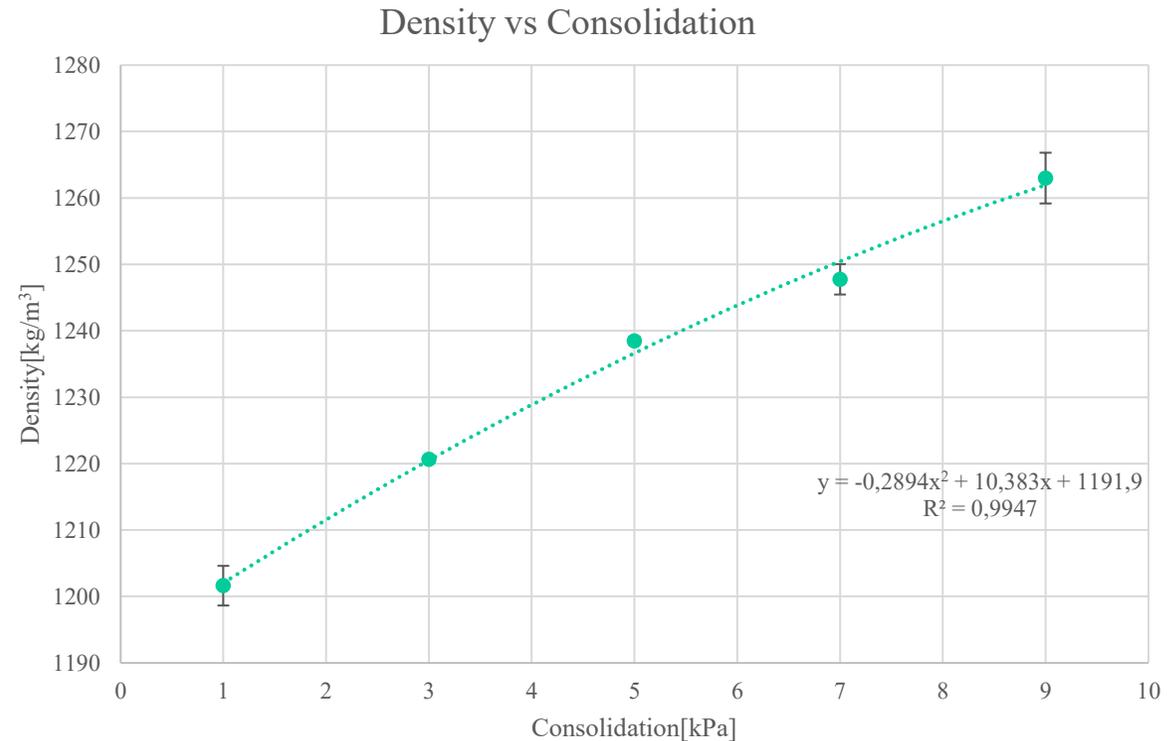
Console 1/A X
Analisi dei frame n. 491
Analisi del frame n. 492
Analisi del frame n. 493
Analisi del frame n. 494
Analisi del frame n. 495
Analisi del frame n. 496
Analisi del frame n. 497
Analisi del frame n. 498
Analisi del frame n. 499
Analisi del frame n. 500
Analisi del frame n. 501
-----
Risoluzione: 0.04 [mm/pixel]

Raggio sfera misurato: 99.99 [pixel]
Raggio sfera misurato: 4.0 [mm]
Dev. std. sul raggio misurato: 0.006 [mm]
Numero di immagini analizzate: 501
-----
Altezza iniziale: 2.3200000000000003mm
Penetrazione massima: 2.9610000000000003 mm
Penetrazione massima_2: 3.0 mm
-----
Area finale di indentazione: 46.8741 mm^2
-----
Volume finale del cratere: 82.99 mm^3
-----
Velocità di impatto: 0.2395 m/s
-----
Lavoro compiuto: 0.0627 [J]
-----

```

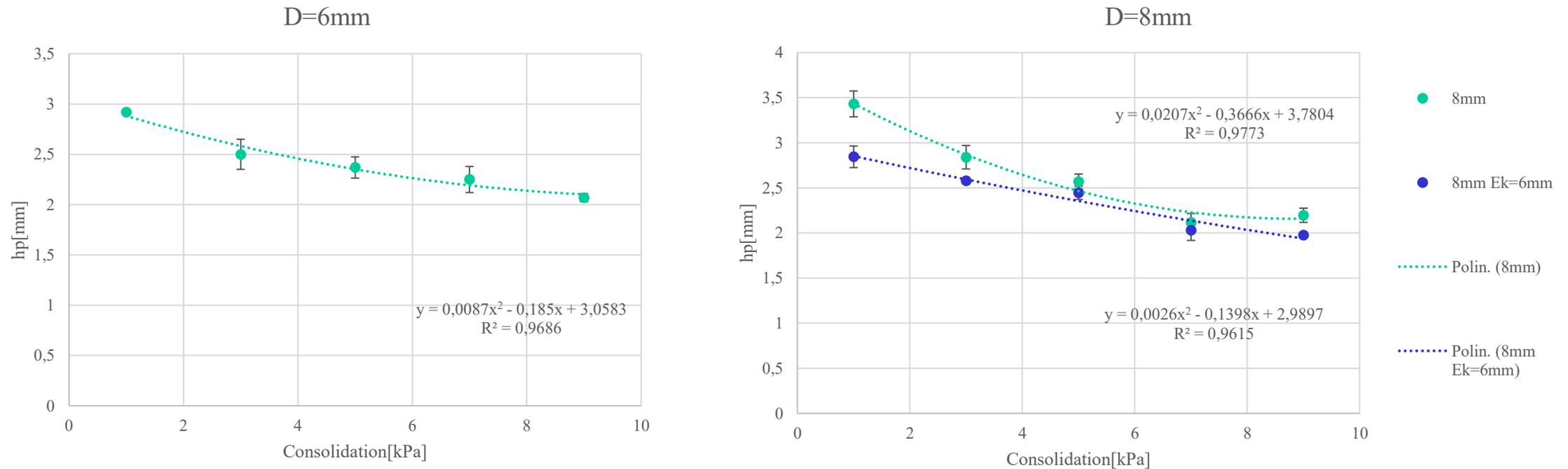
A seguito del consolidamento, è stata calcolata la densità per vedere come questa variasse in seguito all'applicazione degli sforzi tramite l'equazione:

$$\rho = \frac{m}{V}$$



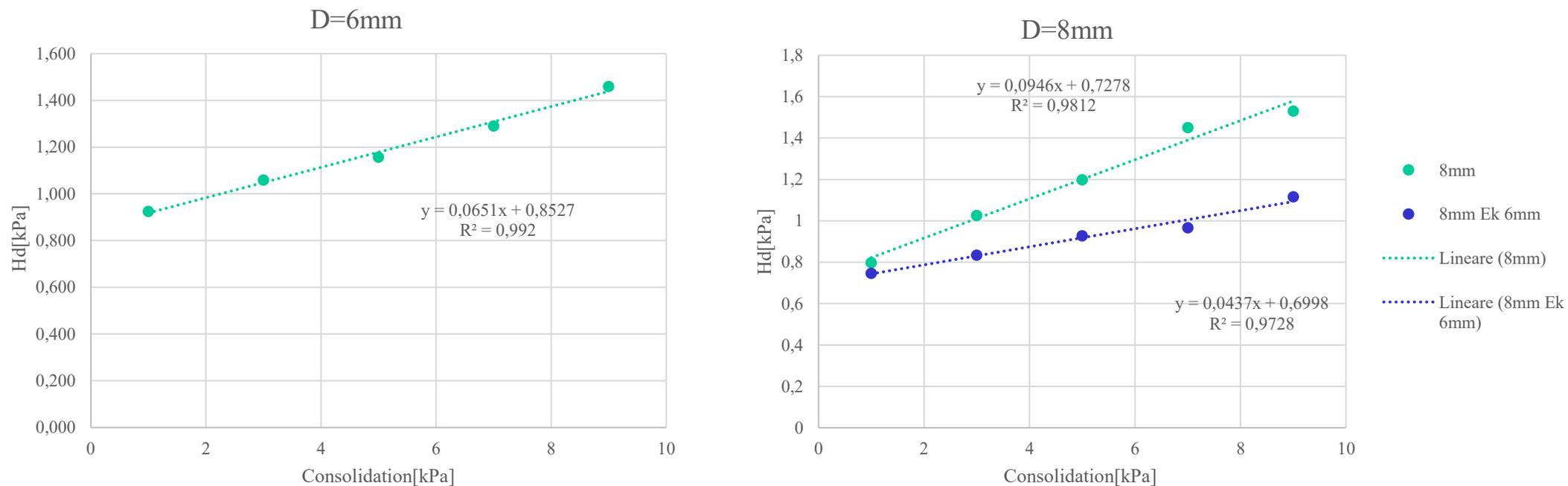
Dal grafico si nota come la densità aumenti con l'aumentare del consolidamento.

Successivamente sono stati analizzati i dati relativi alla penetrazione massima in funzione del consolidamento.



Dai grafici si nota come la penetrazione massima diminuisca all'aumentare del consolidamento.

Infine son stati analizzati i dati della durezza in funzione del consolidamento.



Dai grafici si nota come la durezza aumenti con l'aumentare del consolidamento.

In conclusione, l'indentazione dinamica con sfera, nonostante i vari cambiamenti del set-up sperimentale, visti i risultati in accordo con la teoria, si è dimostrata un metodo valido per caratterizzare la resistenza al flusso dei letti di polvere consolidata.

