

SCIENZA E FANTASCIENZA

Il dato come indizio

Firenze, 7-8 maggio 2025

SEZIONE TESINE TRIENNIO

Menzione d'onore

We are Venom

Studenti

Groff Alessio - Mancin Marco - Fornasiero Corrado

Ferro Alessandro - Daesei Nicholas

Classe 4D

Istituto di Istruzione Superiore

Liceo scientifico Galileo Galilei - Selvazzano Dentro (PD)

Docente Coordinatore

Zonta Marina

L'attività scelta, preparazione di un ferrofluido e sua caratterizzazione, ha richiesto una laboriosa fase iniziale di preparazione; in questa fase, dopo lunghe ricerche su WEB, gli studenti hanno preso la decisione, particolarmente interessante, di consultare direttamente un esperto. La realizzazione degli apparati sperimentali, con l'individuazione di soluzioni tecniche originali, è accurata e ben descritta. La presentazione dell'attività sperimentale è chiara, così come l'analisi degli errori. Le conclusioni, necessariamente qualitative, sono precise e adeguatamente critiche.

WE ARE VENOM

RELAZIONE DEL DOCENTE

Il nostro gruppo di lavoro è formato da cinque studenti di quarta liceo scientifico opzione scienze applicate provenienti dalla medesima classe. Il gruppo è molto affiatato e compatto. Già al primo appuntamento fissato per discutere il tema del convegno, i ragazzi sono arrivati ben motivati e con le idee chiare su quello che volevano fare: indagare la natura del ferrofluido, esplorando anche molteplici applicazioni. Dopo l'analisi di alcune loro proposte molto interessanti abbiamo deciso di procedere per step: iniziare con la realizzazione del ferrofluido in laboratorio di chimica, per poi spostarci su analisi specifiche nel laboratorio di fisica ed infine pensare alle possibili applicazioni.

Dopo essersi ampiamente documentati sul web, i ragazzi hanno selezionato tra varie possibilità, la "ricetta" per fare il ferrofluido di un noto divulgatore scientifico. Dopo vari confronti con il collega di chimica e biologia hanno analizzato e strutturato la scaletta con le varie fasi da seguire. L'analisi delle attrezzature necessarie per la realizzazione della magnetite ha però creato da subito difficoltà. Nonostante diversi tentativi di recuperare l'attrezzatura necessaria (la pompa a vuoto del laboratorio era purtroppo rotta) e i bizzarri tentativi per cercare di ovviare al problema (hanno pensato di utilizzare i pezzi di un frigorifero dismesso), la calibrazione con Arduino di un agitatore per la schiuma del latte per sopperire all'agitatore magnetico del laboratorio di chimica, alla fine hanno desistito e optato per l'acquisto della magnetite, nell'ottica di dedicare più tempo all'analisi del ferrofluido. La mancanza di conoscenza del processo e del prodotto finito ha comportato diversi tentativi e difficoltà. I ragazzi hanno comunque affrontato con molta determinazione i vari step, cercando di mantenere il focus sull'obiettivo prefissato. Motivati dall'interesse, hanno dimostrato notevole prontezza nell'apprendimento e autonomia nella costruzione dell'apparato sperimentale. L'alternanza di momenti trascorsi in laboratorio di chimica, di fisica e in aula informatica hanno reso l'esperienza complessa e faticosa, ma di sicuro completa e didatticamente gratificante.

Nel corso della trattazione dell'esperimento si è cercato di non dare nulla per scontato, ma di verificare, dove possibile, l'effettivo funzionamento degli strumenti e l'affidabilità dei metodi di misura e di analisi utilizzati.

Il mio coinvolgimento ha riguardato la supervisione e il coordinamento delle attività, e l'interpretazione dei risultati trovati. Per i ragazzi è stato stimolante interagire con docenti diversi, con diversi approcci e diversi focus di interesse.

Fin dall'inizio, i ragazzi si sono dimostrati coinvolti e partecipi al progetto. Questo entusiasmo iniziale ha trasformato il processo di apprendimento in un'esperienza coinvolgente e appassionante, spingendoli a esplorare attivamente i concetti e a contribuire attivamente alla realizzazione degli esperimenti. Anche dal mio punto di vista vedere negli studenti la crescita delle competenze, i progressi nella gestione delle attività e nel consolidamento dell'applicazione del metodo scientifico e confrontarmi con un ambiente a me del tutto estraneo (il laboratorio di chimica) è stata un'esperienza importante che mi ha sicuramente arricchito professionalmente.

Una nota in particolare: ho trovato particolarmente interessante come i ragazzi dopo un iniziale entusiasmo per le proposte allettanti del web, abbiano spontaneamente avvertito la necessità di ricorrere a fonti accreditate, che permettessero anche una possibile interazione personale. E' stata infatti loro iniziativa consultare direttamente l'autore di diverse pubblicazioni e confrontarsi con lui chiedendo consigli per sviluppare strategie risolutive dei problemi incontrati.



WE ARE VENOM

RICERCA SUL FERROFLUIDO

Il tema del convegno di quest'anno di ScienzaAFirenze, "Scienza e Fantascienza. Il dato come indizio" ci ha subito ispirato a ricercare tra i personaggi di fumetti e film un legame che potessimo portare tra le mura di un laboratorio scolastico. Un po' ispirati all'imminente uscita del film della Marvel nostra scelta è ricaduta su Venom. In particolare ci siamo concentrati sulla capacità di questo personaggio di mutare istantaneamente la forma del suo corpo, simile ad un liquido nero, che tanto ricorda un ferrofluido.....

Indice

Introduzione	1
1 Creazione del Ferrofluido	3
1.1 Primo ipotesi.....	3
1.2 Primo tentativo	7
1.2.1 Secondo risultato	7
1.3 Ultimo tentativo.....	10
2 Raccolta dati	13
3 Procedure sperimentali preliminari	8
Conclusioni	16
Bibliografia	18

INTRODUZIONE

Il ferrofluido è un liquido colloidale composto da nanoparticelle di materiale ferromagnetico, come la magnetite, sospese in un fluido portante e stabilizzate da un sottile strato di tensioattivo. Questa combinazione permette al liquido di reagire ai campi magnetici, assumendo forme insolite e dinamiche.



STEVE PAPELL

Negli anni '60 iniziarono le prime sperimentazioni per creare un fluido controllabile tramite campi magnetici per contenere i carburanti nei motori spaziali che altrimenti tendevano a disperdersi. Steve Papell, ingegnere della NASA, nel 1963 creò il primo ferrofluido moderno, in grado di mantenere le sue proprietà magnetiche grazie a un rivestimento di tensioattivi sulle nanoparticelle. L'interesse per i ferrofluidi crebbe nei decenni successivi, con studi approfonditi che ne analizzarono le dinamiche e le instabilità. Un contributo fondamentale per la comprensione di liquidi magnetici si deve a R. E. Rosensweig, che nel 1985 pubblicò il libro *Ferrohydrodynamics*. Le sue ricerche misero in luce fenomeni come la formazione di strutture a "picco" sulla superficie del liquido, un effetto visibile dell'interazione tra forze magnetiche e tensione superficiale.

Oggi i ferrofluidi trovano applicazione in molti settori. In ingegneria vengono utilizzati per migliorare i sistemi di raffreddamento e sigillatura nei motori; in campo medico, per la somministrazione mirata di farmaci e come agenti di contrasto nella diagnostica per immagini. Inoltre, il loro aspetto affascinante ha ispirato artisti e designer, portando alla creazione di installazioni interattive e opere d'arte innovative.

Abbiamo scelto di studiare e creare un ferrofluido perché ci ha affascinati la sua capacità unica di reagire istantaneamente ai campi magnetici. In particolare, le strutture a "punta" che si formano sotto l'effetto di un campo magnetico ci hanno incuriosito, spingendoci ad approfondire la conoscenza di questo materiale.

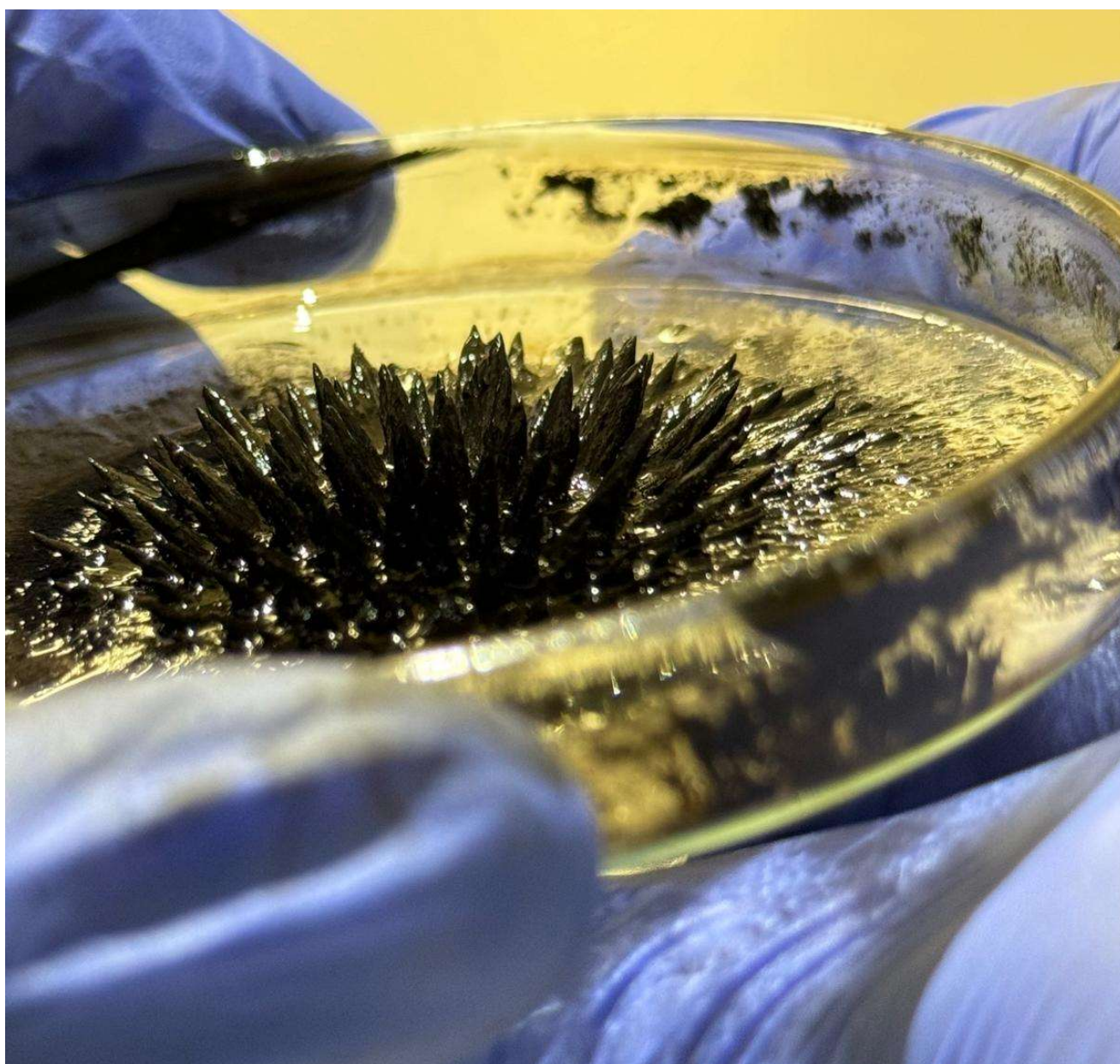
All'inizio del progetto abbiamo analizzato le diverse opzioni disponibili online per la creazione di un ferrofluido, cercando la soluzione più adatta alle nostre esigenze e con il miglior rendimento magnetico. In rete esistono molti tentativi artigianali poco precisi. Il problema principale è che non basta mescolare nanoparticelle di magnetite con un fluido oleoso: affinché le particelle restino disperse in modo uniforme, devono essere circondate da tensioattivi, come l'acido oleico.



R. E. ROSENSWEIG

Dopo un'accurata ricerca, abbiamo individuato un procedimento proposto online da uno youtuber laureato in chimica noto per la precisione e l'affidabilità dei suoi esperimenti. In due diverse occasioni ha sperimentato e documentato il processo di creazione del ferrofluido. Il video tutorial mostrava tutti i passaggi necessari per ottenerlo a partire da semplici reagenti chimici. Tuttavia, il procedimento richiedeva strumentazioni specifiche, come un mescolatore meccanico a velocità variabile e una pompa a vuoto, che non avevamo a disposizione e per i quali abbiamo dovuto cercare delle alternative.

Il procedimento che abbiamo considerato è riportato di seguito ed è stato analizzato e trascritto, in modo da poter essere utilizzato in laboratorio, prima da noi e successivamente dal nostro professore di biologia e chimica.



MATERIALI



Didascalia immagine: MG Chemicals
415-1L Ferric Chloride, chiodi



Didascalia immagine: Cloruro Ferroso

RISULTATI



Creazione del Ferro Fluido

1.1 Prima ipotesi

Creazione delle Soluzioni Ferrose:

Cloruro di ferro (III) (FeCl_3): ottenuto da un prodotto di pulizia per circuiti stampati.

Cloruro di ferro (II) (FeCl_2): ottenuto dalla riduzione del cloruro di ferro (III) con lana d'acciaio.

Materiali:

Preparazione del Cloruro di ferro (III) (FeCl_3): FeCl_3 è ottenuto da un prodotto di pulizia per circuiti stampati.

Preparazione del Cloruro di ferro (II) (FeCl_2): Cloruro di ferro (III) FeCl_3 , ottenuto da un prodotto di pulizia per circuiti stampati, reagisce con lana di acciaio per ottenere Fe (II) secondo la seguente reazione: $2 \text{FeCl}_3 + \text{Fe}$ (lana di acciaio) $\rightarrow 3 \text{FeCl}_2$ (reazione esotermica)

Controllo della soluzione:

Dopo 10 minuti: verificare il colore della soluzione, che deve risultare di un verde intenso.

Dopo 30 minuti: controllare nuovamente.

Lasciare riposare per una notte: Se si verifica precipitazione, aggiungere acqua distillata.

Filtraggio:

- Filtrare la soluzione attraverso carta da filtro in un recipiente pulito e sciacquare con acqua distillata.
- Volume totale della soluzione: 300 ml (diluìto con acqua).
- Volume iniziale: 150 ml. La concentrazione aumenta di 1,5 volte, quindi viene diluita con acqua.
- Aggiungere viti di ferro per prevenire l'ossidazione della soluzione.

Creazione della Soluzione di Magnetite:

Materiali per la soluzione:

MATERIALI



Didascal immagine: acido oleico



Didascal immagine: Ammoniaca 28%



Didascal immagine: acqua distillata



Didascal immagine: alcool isopropilico



Didascal immagine: pompa a vuoto

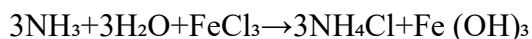
- L di acqua distillata
- 60 ml di soluzione di Fe (II)
- 75 ml di soluzione di Fe (III)
- 100 g di ammoniaca al 28%

Procedura:

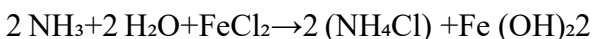
1. Versare prima l'acqua distillata, poi aggiungere le soluzioni di ferro.
2. Impostare l'agitatore meccanico a circa 463 gpm.
3. Dopo 10 minuti, iniziare ad aggiungere ammoniaca lentamente tramite un imbuto contagocce (funnel).
4. Aumentare la velocità dell'agitazione a 1200 gpm.
5. Continuare fino a quando il pH raggiunge 4 (quando la soluzione diventa di colore nero).
6. Lasciare mescolare per 15 minuti (nel frattempo, procedere con la preparazione del sapone ammonico).

Reazioni principali durante il processo:

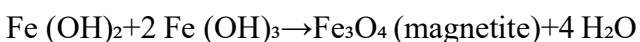
Reazione con Fe (III): quando il pH arriva a 4, avviene la reazione con la soluzione ferrosa:



Reazione con Fe (II): quando gli ioni Fe^{3+} sono esauriti, il pH sale a 9 e inizia la reazione con gli ioni Fe^{2+} :



Reazione finale:



Creazione del Sapone Ammonico:

Materiali:

- 15 g di acido oleico ($\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$)
- 20 mL di acqua distillata
- 10 mL di ammoniaca al 28%

Procedura:

In un becher separato, aggiungere l'acido oleico, l'acqua distillata e l'ammoniaca.

Reazione: $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COONH}_4$ (formazione di sapone ammonico)

Stabilizzazione delle Nanoparticelle di Magnetite:

1. Al termine dei 15 minuti, aggiungere altri 15 g di ammoniaca in 1 minuto (il pH dovrebbe aggirarsi intorno al 10).
2. Aggiungere il sapone ammonico, eventualmente aiutandosi con acqua distillata.
3. Aumentare gradualmente la velocità dell'agitazione a 1900 gpm per 20 minuti.
4. Durante questo processo, il sapone ammonico stabilizza le particelle di magnetite.

Regolazione del pH:

1. Utilizzare acido cloridrico diluito (1 parte di acido con 2 parti di acqua).
2. Controllare periodicamente il pH e fermarsi quando il valore è compreso tra 6 e 7.

Separazione della Magnetite dall'Acqua

Materiali:

- Acqua distillata
- Alcol isopropilico
- Cloruro di calcio (CaCl_2) (per asciugare)

Procedura:

1. Spegnerne il macchinario. La magnetite precipiterà sul fondo del contenitore.
2. Versare la maggior parte dell'acqua in un altro becher.
3. Utilizzare un magnete esterno per attrarre la magnetite, separandola dal liquido rimanente.
4. Ripetere il processo con acqua distillata per purificare ulteriormente la magnetite.
5. Pulire la magnetite con alcol isopropilico.

Asciugatura della Magnetite

Materiali:

- Pompa a vuoto
- Cloruro di calcio (CaCl_2)

Procedura:

1. Versare la magnetite in un contenitore separato.
2. Utilizzare una pompa a vuoto con cloruro di calcio (CaCl_2) come agente disidratante.
3. Lasciare la pompa accesa per tutta la notte con la valvola semi-aperta.
4. Una volta asciutta, la magnetite risulterà in una polvere fine.

Attenzione: Non inalare la polvere.

Creazione del Ferrofluido

Materiali:

- Magnetite asciutta
- Cherosene (o altro olio minerale)

Procedura:

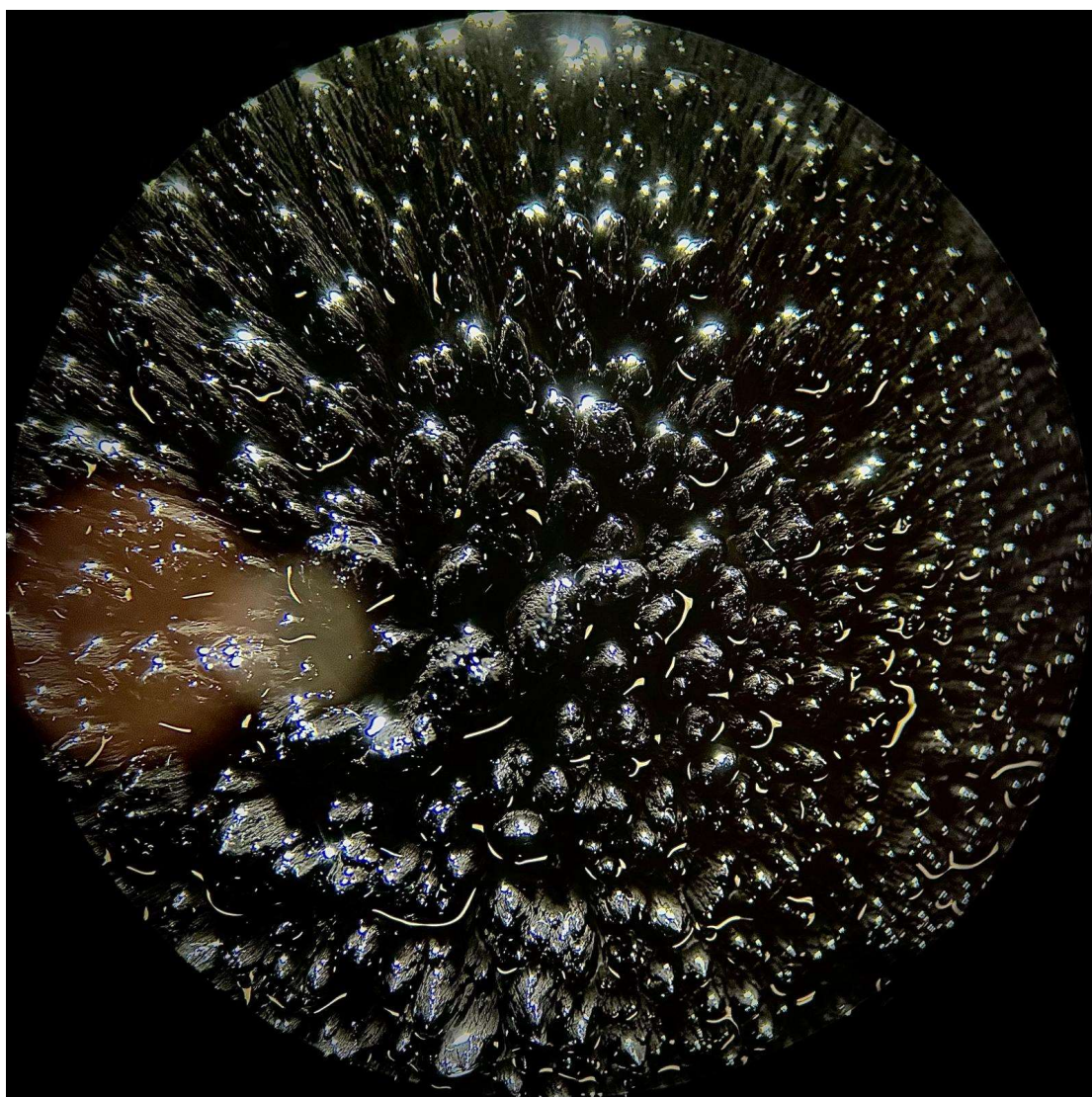
1. Mescolare la magnetite e il cherosene nella proporzione del 15% di magnetite e 85% di olio.
2. Mescolare fino a ottenere una sospensione uniforme.
3. Le particelle rimarranno in sospensione, creando un sistema colloidale.

Utilizzare un magnete esterno per separare eventuali aggregati.

Abbiamo quindi valutato l'opzione di acquistare questi strumenti online o di costruirli artigianalmente. Per il mescolatore, abbiamo realizzato un sistema artigianale utilizzando un motore da 3V e una scheda Arduino, integrando un potenziometro, un MOSFET e altri componenti per regolarne la velocità.

Per quanto riguarda la pompa a vuoto, avevamo inizialmente considerato l'idea di costruirne una utilizzando una pompa riciclata da un frigorifero. Tuttavia, questa opzione è stata scartata a causa dell'elevato rischio di danni per noi e per l'ambiente circostante.

Considerando l'alto costo di una nuova pompa a vuoto e il tempo necessario per ottenere l'approvazione burocratica dell'istituto per l'acquisto, abbiamo infine deciso di acquistare online magnetite sintetica di alta qualità, specifica per la realizzazione di ferrofluidi. Questa scelta ci ha permesso di evitare la fase iniziale più complessa, ovvero la sintesi della magnetite a partire dal cloruro ferrico e altri reagenti.



MATERIALI



Didascalìa immagine: acido oleico



Didascalìa immagine: Ammoniaca 28%



Didascalìa immagine: acqua distillata

SVOLGIMENTO



Didascalìa immagine: controllo ph

1.2 Prima prova

Abbiamo utilizzato i seguenti componenti:

- **Matrice oleosa:** Kerosene (Jet Fuel Type-A1) e olio minerale
- **Tensioattivi:** Olio extravergine d'oliva e sapone liquido
- **Parte magnetica:** Polvere di magnetite nanometrica (15-200 nm)

Abbiamo testato diverse combinazioni di questi elementi, variando i rapporti di miscelazione e verificando il comportamento del ferrofluido sotto l'effetto di un campo magnetico.

I primi tentativi di creazione sono stati fallimentari, in quanto ci siamo limitati a mescolare semplicemente questi elementi senza garantire ai tensioattivi (comunque non ottimali) di isolare correttamente le particelle di magnetite.

Procedimento per la creazione del ferrofluido:

1. Preparazione della soluzione basica:

- Preparare 100 ml di soluzione a pH 10 con acqua distillata e ammoniaca.

2. Disperdere le nanoparticelle:

- Aggiungere 25 g di nanoparticelle alla soluzione basica.
- Se disponibile, utilizzare un sonicatore per eliminare eventuali aggregati.

3. Riscaldamento e miscelazione:

- Scaldare la miscela a 60-70°C su una piastra riscaldante.
- Inserire il miscelatore e mescolare per 5 minuti.

4. Aggiunta dell'olio:

- Versare circa 10 g di olio extravergine d'oliva mentre la miscela è in agitazione.
- Continuare a mescolare ad alta velocità per 10 minuti.

5. Passaggi successivi:

- Aggiungere un acido per neutralizzare la soluzione.



Didascalia immagine: Riscaldamento



Didascalia immagine: Magnetite



Didascalia immagine: pulizia



Didascalia immagine: controllo

- Far precipitare le nanoparticelle usando un magnete.
- Lavare le nanoparticelle e infine disperderle nel kerosene.

Nota: La procedura potrebbe necessitare di aggiustamenti per ottenere un ferrofluido sufficientemente concentrato e stabile.

I risultati ottenuti, come mostrato nelle figure a fianco, hanno evidenziato una separazione completa della magnetite dalla matrice oleosa. Di conseguenza, il fluido non mostrava proprietà magnetiche visibili, mentre il residuo di magnetite ne era affetto.

Ottimizzazione del procedimento:

Attraverso una serie di ricerche approfondite sul web, ci siamo imbattuti in diverse tesi di laurea, sia triennali che magistrali, riguardanti lo studio del ferrofluido. In particolare, ci hanno colpito i lavori del dott. Carlo Rigoni, esperto nel campo. Abbiamo quindi deciso di contattarlo direttamente per un confronto più efficace. Gentilmente, ci ha fornito alcuni consigli su come migliorare il nostro procedimento di creazione, che abbiamo seguito per affinare la nostra tecnica. Per assicurare che le la superficie delle nanoparticelle sia reattiva a sufficienza per permettere ai surfattanti di aderire ci ha consigliato di preparare una soluzione a pH 10 di acqua distillata e ammoniaca. Successivamente disperdere le nanoparticelle nella soluzione a pH 10 di acqua distillata e ammoniaca. Scaldare la miscela su piastra attorno a 60/70 gradi e inserire il miscelatore. Mescolare la dispersione per 5 minuti. Versare olio di oliva nella miscela. Lasciando mescolare per 10 minuti ad alta velocità.

Abbiamo poi proseguito con i passaggi successivi come previsto dal nostro procedimento.

Analisi del ferrofluido:

Una volta completata la fase di creazione del ferrofluido e verificato che fosse sufficientemente fluido, abbiamo proseguito con l'analisi delle sue proprietà.

Per le misurazioni ci siamo concentrati su:

- **Misurazione della tensione superficiale** (*fallita*)
- **Verifica della potenza e della portata del magnete al neodimio tramite sensore**
- **Misura dell'altezza dei picchi del fluido al variare della distanza con il magnete** (*solo qualitativa*)

Misura della tensione superficiale

Dopo qualche ricerca abbiamo deciso di utilizzare il metodo dell'anello di du Noüy. La procedura ci è sembrata semplice e replicabile in laboratorio con il materiale a disposizione. Si tratta di calcolare la tensione superficiale come misura della forza necessaria a sollevare un oggetto immerso nel fluido. Risulta infatti che:

$$F = P + 2\pi(R + r)\gamma \quad (*)$$

Dove F è la forza misurata necessaria per estrarre l'anello, P la forza peso, R il raggio esterno dell'anello e r il raggio interno. Il principale vantaggio che ci ha spinti a utilizzare questo metodo risiede nella sua apparente semplicità di esecuzione e nella facile reperibilità degli strumenti necessari.

Per testare la procedura, abbiamo inizialmente applicato il metodo a un campione d'acqua. Questo ci ha permesso di verificare la compatibilità dei risultati sperimentali con i valori presenti in letteratura.

Poiché l'obiettivo era utilizzare gli stessi materiali che avremmo impiegato successivamente per il ferrofluido, anche in presenza di un campo magnetico, abbiamo scelto di lavorare con un anello di gomma.

Taratura degli strumenti e scelta della sensibilità: sensore di forza

Abbiamo osservato che, in assenza di pesi applicati, il sensore di forza forniva valori oscillanti. Le misurazioni registrate erano comprese tra 0,001 N e 0,002 N. Di conseguenza, abbiamo azzerato lo strumento e assunto come errore di sensibilità la media delle oscillazioni di fondo, ovvero 0,001 N.

Successivamente, abbiamo appeso l'anello al sensore, attendendo che la misura si stabilizzasse, e abbiamo registrato i seguenti valori:

Peso anello	Errore
0.003 N	0.001 N
0.004 N	0.001 N
0.005 N	0.001 N
0.006 N	0.001 N

Il valor medio fornisce il valore $\underline{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{4}$ e considerando l'errore $\underline{P} = (4 \pm 1) \text{ mN}$

Per verificare l'attendibilità della misura abbiamo misurato con la bilancia la massa dell'anello e fatto un confronto tra le due misure:

dalla misura $m = (0.39 \pm 0.01) \text{ g}$, utilizzando la relazione $P = mg$, otteniamo

$P = (3.83 \pm 0.01) \text{ mN}$, valore compatibile con la nostra misurazione.

Procedendo con la misura, abbiamo immerso l'anello nell'acqua e poi lentamente sollevato controllando sull'interfaccia il valore massimo della forza registrato al distacco dell'anello dal liquido. Dopo diverse misurazioni il valore registrato è stato $F = (10 \pm 1) \text{ mN}$.

Con il calibro centesimale abbiamo misurato il diametro esterno e quello interno dell'anello, ottenendo

$$D = (17.20 \pm 0.05) \text{ mm}$$

$$d = (12.00 \pm 0.05) \text{ mm}$$

Inserendo le misure nella relazione (*) otteniamo per la tensione superficiale

$$(**) \quad \gamma = \frac{F-P}{2\pi((D+d)/2)} = 0.065 \text{ mN/mm}$$

L'errore è stato calcolando utilizzando la propagazione dell'errore, ovvero

$$\Delta\gamma = \left(\frac{\Delta(F-P)}{F-P} + \frac{\Delta D}{D} \right) \gamma = (0.33 + 0.0067) * 0.065 \text{ mN/mm} = 0.02 \text{ N/mm}$$

e quindi

$$\gamma = (0.07 \pm 0.02) \text{ m N/mm}$$

I valori teorici in letteratura variano tra 73 mN/m e 78 mN/m. Possiamo quindi considerare attendibile, pur con delle limitazioni dovute all'eccessiva leggerezza dell'anello, il metodo di misura.

Con il ferrofluido abbiamo eseguito misure in assenza di campo magnetico ed in presenza del campo magnetico massimo, ovvero con il magnete attaccato al becher contenente il campione. La misura della forza per il distacco dell'anello in assenza di campo magnetico è $F_0 = (11 \pm 1) \text{ mN}$, mentre con campo magnetico $F_B = (9 \pm 1) \text{ mN}$.

Inserendo i valori nella relazione (**) e calcolando i rispettivi errori abbiamo trovato $\gamma_0 = (0.08 \pm 0.02) \text{ m N/mm}$ e $\gamma_B = (0.05 \pm 0.02) \text{ m N/mm}$.

I risultati trovati risultano essere tra loro compatibili, mentre noi ci aspettavamo non lo fossero.

Alla vista il fluido si comporta nei due casi in modo totalmente diverso: nel primo si presenta allo stato liquido con prevalenza di petrolio bianco in superficie, nel secondo appare decisamente più denso in quanto prevale sulle punte la presenza della magnetite. Riteniamo quindi il metodo per la misura utilizzato non adatto, probabilmente per l'eccessiva leggerezza dell'anello rispetto alla sensibilità dei nostri sensori (l'errore relativo risulta troppo alto).

Misurazione con sensore per la mappatura del campo magnetico generato dal magnete al neodimio:

Abbiamo calcolato il campo magnetico in funzione della distanza dal magnete. Per farlo abbiamo posizionato un magnete sopra un carrello su rotaia e posizionato il magnete lungo essa, abbiamo poi posizionato un sensore ottico all'inizio della rotaia e considerato lo 0 dalla parte posteriore del carrello, abbiamo poi calcolato la distanza del magnete dal magnetometro attraverso questa formula:

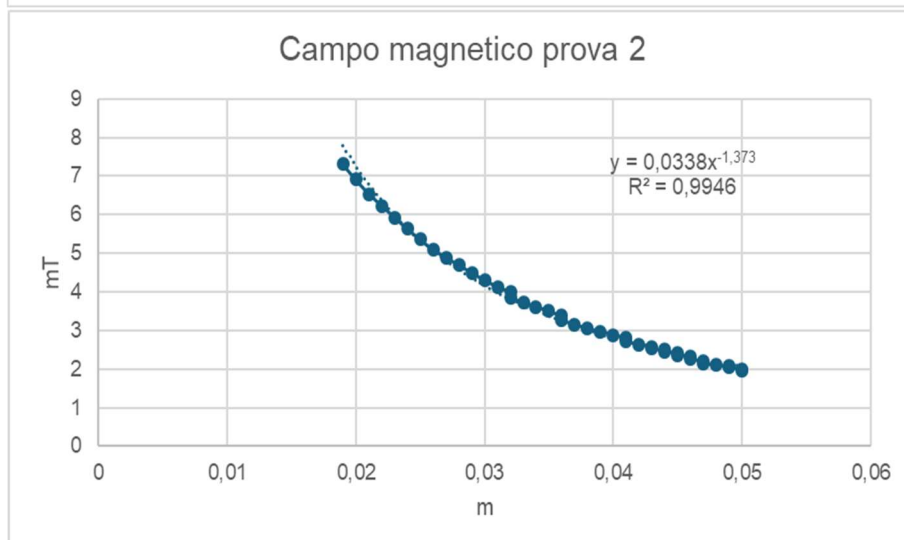
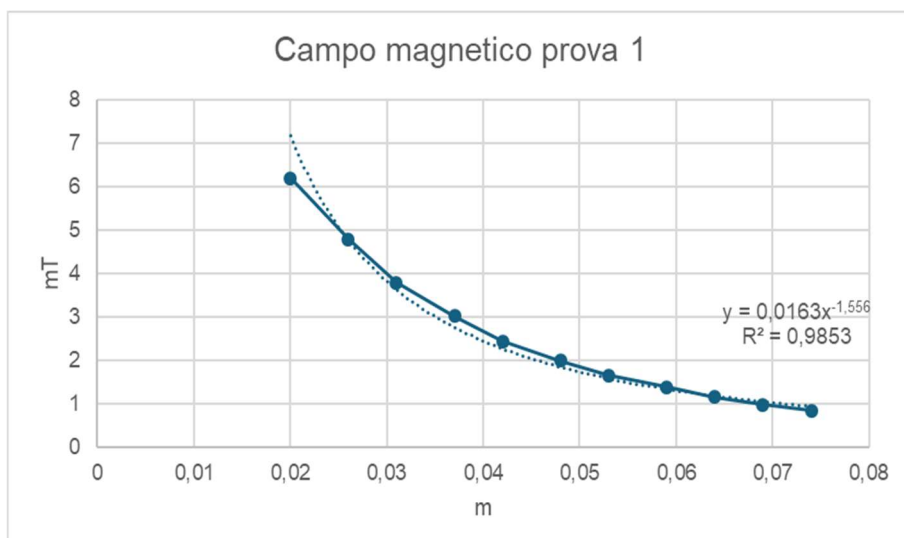
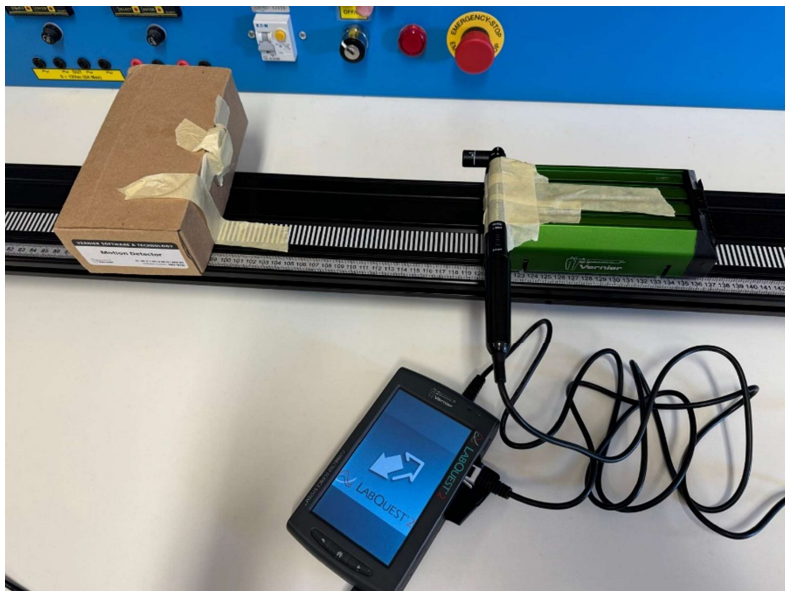
$$x = x_{tot} - x_r$$

Campo magnetico prova 1	
0,02 m	6,197 mT
0,026 m	4,791 mT
0,031 m	3,779 mT
0,037 m	3,011 mT
0,042 m	2,437 mT
0,048 m	1,983 mT
0,053 m	1,641 mT
0,059 m	1,376 mT
0,064 m	1,143 mT
0,069 m	0,97 mT
0,074 m	0,834 mT

Campo magnetico prova 2	
0,016 m	8,224 mT
0,017 m	7,772 mT
0,019 m	7,310 mT
0,020 m	6,920 mT
0,021 m	6,539 mT
0,022 m	6,225 mT
0,023 m	5,924 mT
0,024 m	5,631 mT
0,025 m	5,354 mT
0,069 m	0,970 mT
0,074 m	0,834 mT

dove x_{tot} è la distanza totale (tra il carrello quando è a contatto con il magnete e lo 0)

e x_r è la distanza tra il carrello e lo 0 del sensore al momento della cattura dei dati quindi abbiamo prelevato le misure valide e poste su un grafico del campo magnetico in funzione della posizione.



I grafici si riferiscono a due prove differenti che abbiamo eseguito in successione e da cui abbiamo ricavato due serie di valori per avere un confronto più attendibile.

Il sensore utilizzato aveva portata di 7,3 mT, valore troppo basso per rilevare il valore del campo magnetico in prossimità del magnete. Abbiamo deciso quindi di interpolare i dati riportati nei grafici per individuare la funzione matematica che rappresentasse al meglio l'andamento del campo magnetico, in modo da poter estrapolare successivamente dal grafico matematico i valori del campo magnetico non determinabili direttamente con il sensore.

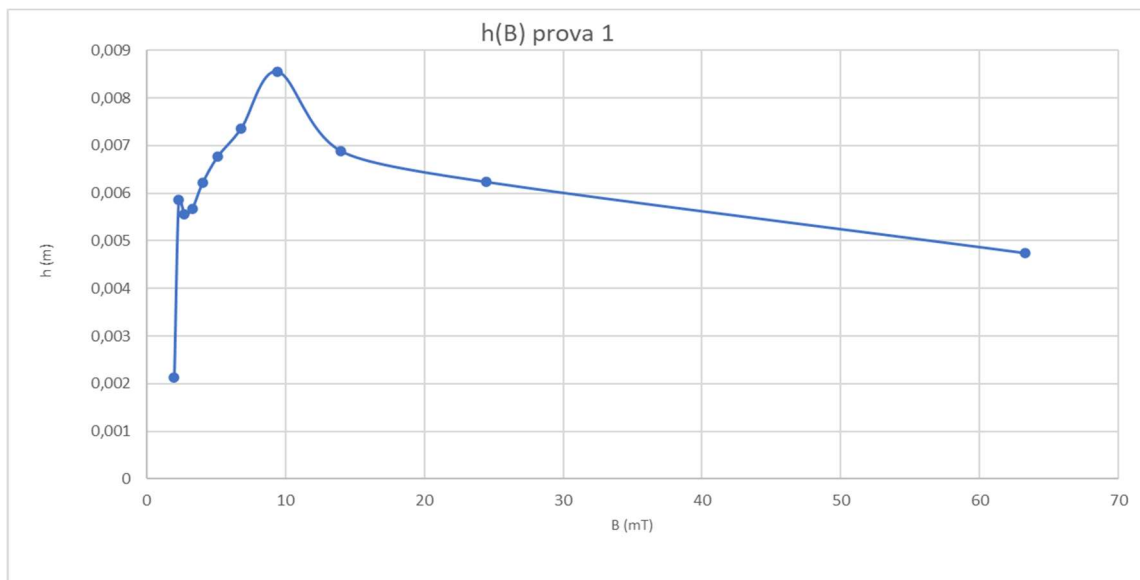
L'errore attribuito ai dati estrapolati sarà uguale all'errore dei dati rilevati direttamente tramite il sensore.

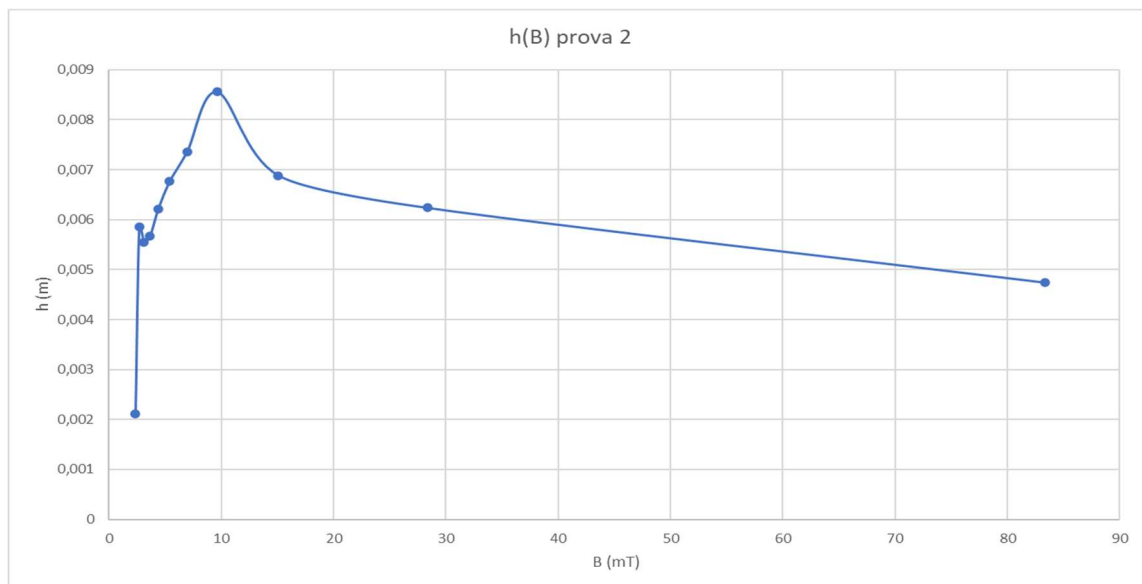
Misura dell'altezza dei picchi del fluido al variare della distanza con il magnete

Abbiamo analizzato il comportamento del ferrofluido a diverse distanze dal magnete e quindi in funzione dell'intensità del campo magnetico corrispondente. Per eseguire le misurazioni, abbiamo posizionato una piastra Petri contenente il ferrofluido e costruito una struttura per mantenere il magnete fisso. Per rendere variabile la distanza del campione dal magnete, senza utilizzare supporti metallici che avrebbero potuto alterare le misure, abbiamo utilizzato dei cartoncini. Come spessore iniziale, abbiamo utilizzato 22 lamine di cartone, rimuovendo successivamente due lamine alla volta (spessore medio di ogni lamina: $(2,1 \pm 0,1)$ mm).

Per ogni livello, abbiamo scattato una foto sia sul piano orizzontale che su quello verticale, prestando attenzione agli errori di parallasse e agli effetti della telecamera. Un righello, posizionato alla stessa distanza della fotocamera rispetto alle punte, ha fornito un riferimento per la misura delle altezze in pixel, permettendoci di calcolarle tramite proporzioni. Inoltre, abbiamo collocato dietro la pila di lamine un foglio di carta millimetrata per facilitare la raccolta dei dati.

Dai rilievi fotografici abbiamo ottenuto le misure delle punte del ferrofluido a diverse distanze e successivamente le abbiamo messe in un grafico assieme ai valori ottenuti dall'interpolazione della curva derivata dalla mappatura del campo magnetico. Seguono le due misurazioni relative alle curve ottenute con i due set di dati per il campo magnetico.

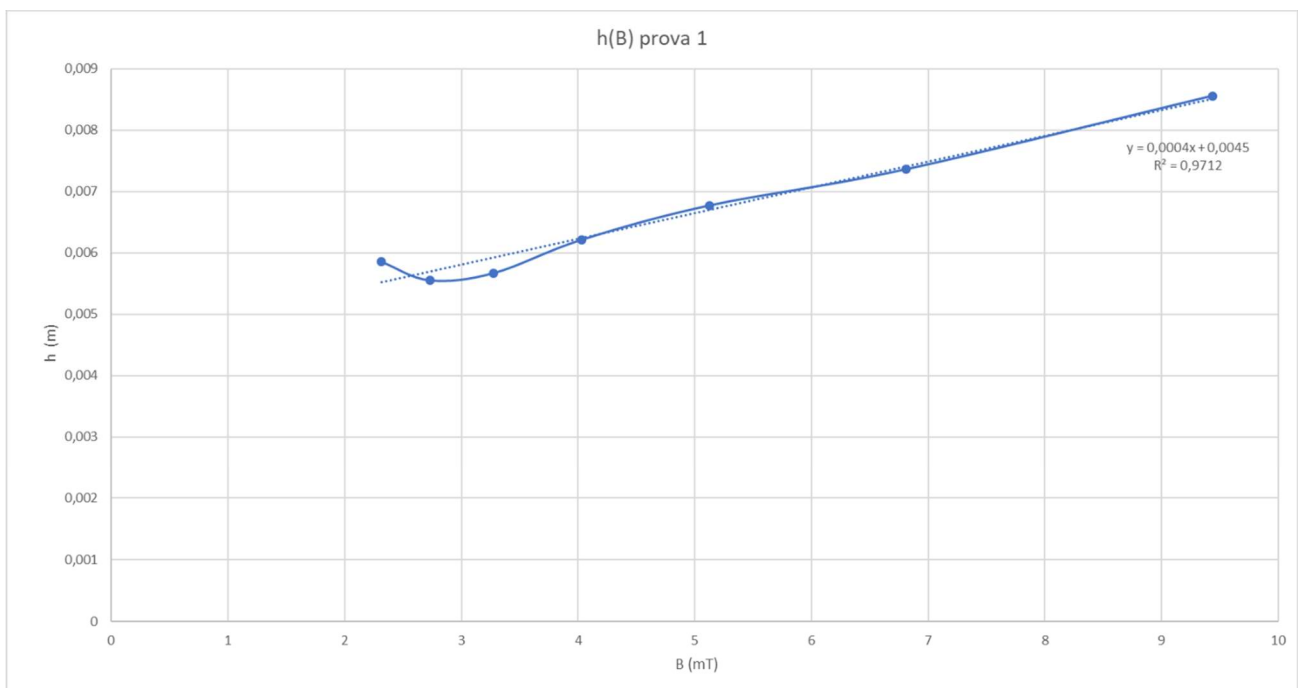


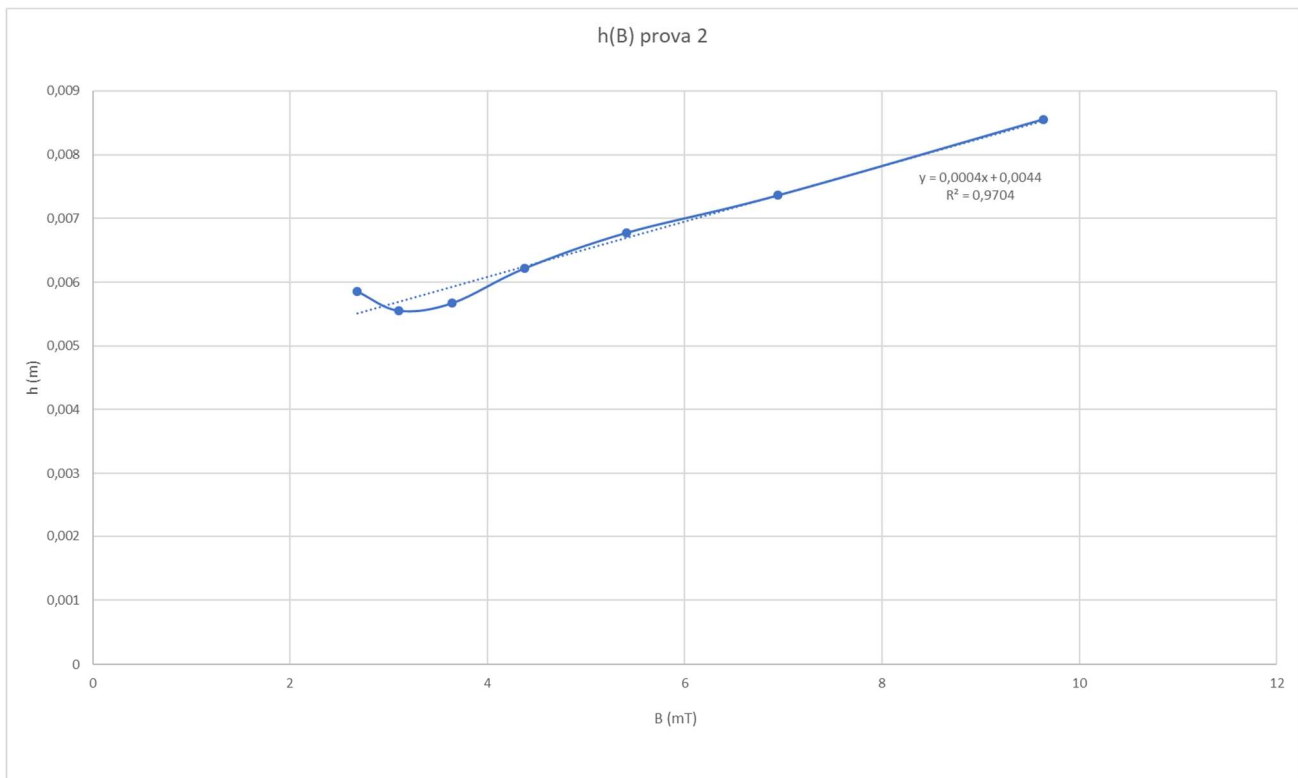


Analizzando i grafici ottenuti, si vede come il comportamento delle punte sia anomalo. Per campi magnetici non troppo intensi ha un andamento crescente, dopo un certo valore di riferimento, coerente tra le prove eseguite, decresce, invece, piuttosto rapidamente.

Abbiamo quindi deciso di analizzare solo la prima parte del grafico per poterla confrontare con un possibile modello teorico (vedi appendice docente referente).

Di seguito i grafici relativi a valori del campo magnetico minori di 10 mT con le rispettive linee di tendenza.





Come si può notare, nell'approssimazione di campo magnetico non troppo intenso, i dati seguono con buona approssimazione un andamento lineare. La seconda parte del grafico, in cui l'andamento di h è peculiare, potrebbe a nostro avviso essere dovuto alla composizione imperfetta del nostro campione di ferrofluido la cui la densità, il cui stato di sospensione magnetica e la cui composizione omogenea non erano ottimali. Probabilmente la sua viscosità estremamente elevata lo rende più affine a un fluido magnetoreologico (MRF).

L'incompatibilità con la definizione di ferrofluido si evidenzia, in parte, anche nel comportamento delle punte: infatti, a seguito della riduzione del campo magnetico del magnete, i picchi non tendevano a scomparire completamente, ma persisteva sempre una piccola porzione costituita principalmente da particelle di magnetite. L'elevata viscosità, conseguenza dell'inefficienza dei tensioattivi o comunque all'instabilità del campione, ha determinato questi effetti non sono in linea con le previsioni teoriche.



Misura numero di ponte

Abbiamo provato a studiare la variazione del numero di ponte, e la loro lunghezza d'onda (distanza tra due creste contigue) in funzione del campo magnetico.

Conoscendo il punto critico per cui il ferrofluido smette di essere influenzato dall'attività magnetica, abbiamo avvicinato perpendicolarmente il campione di ferrofluido al magnete al neodimio per eseguire delle foto che in seguito ci avrebbero permesso di rilevare il numero di ponte e calcolare, mediando su più misure, la distanza tra esse.

Purtroppo le immagini ottenute, anche a causa della loro scarsa risoluzione e della difficoltà ad illuminare in modo preciso le punte, sono risultate troppo difficili da interpretare e quindi abbiamo deciso di fare solo un'analisi qualitativa.

Siamo riusciti ad osservare che il numero di punte cresce al diminuire della distanza dal magnete e, conseguentemente, la lunghezza d'onda diminuisce all'aumentare dell'intensità del campo magnetico. Non avendo a disposizione valori sperimentali possiamo solo affermare che a livello qualitativo l'andamento sembrerebbe confermare il nostro modello teorico.

APPENDICE DEL DOCENTE REFERENTE

Per cercare di trovare un modello per l'incremento dell'altezza delle punte del ferro fluido in funzione di grandezze fisiche misurabili con cui confrontare i nostri risultati, ho tentato, leggendo diversi articoli scientifici e facendomi ispirare anche dal web, di ricavarne uno semplice da verificare. Le punte risultano essere una configurazione di equilibrio tra energia dovuta alla presenza del campo magnetico esterno ed energia dovuta alla tensione superficiale del fluido, ovvero (1) $E_M = E_\gamma$.

Provando ad interpretare il comportamento della tensione come quello di una forza elastica, posso supporre che la perturbazione sia di tipo sinusoidale, ovvero che il profilo della stessa possa essere

$h(x) = h_0 \cos(kx)$, con $k = 1/\lambda$ reciproco della lunghezza d'onda, intesa come distanza tra due creste successive.

L'incremento del profilo della superficie del fluido, per piccole perturbazioni, sarà $dl \approx \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{dh}{dx}\right)^2\right] dx$ da cui, integrando su una lunghezza d'onda, risulta un incremento pari a $\Delta l = \frac{1}{2} \int_0^\lambda h_0^2 k^2 \sin^2(kx) dx = \frac{\pi}{2} h_0^2 k$.

L'energia dovuta alla tensione superficiale sarà direttamente proporzionale, secondo il modello proposto, all'incremento del profilo, da cui $E_\gamma = \gamma \Delta l \sim \gamma h_0^2 k$.

Considerando l'energia per unità di lunghezza d'onda, trovo $\frac{E_\gamma}{\lambda} \sim \gamma h_0^2 k^2$.

Ricordando che l'energia magnetica è direttamente proporzionale al quadrato del campo magnetico, dalla (1) risulta che $B^2 \sim \frac{\gamma h_0^2}{\lambda^2}$.



Le approssimazioni e gli assunti per questo modello sono sicuramente tanti, primo fra tutti l'aver trascurato l'influenza della gravità e la forma delle punte, che quando si fanno più accentuate perdono il carattere sinusoidale, ma

dall'analisi dei grafici, relativa alla zona in cui il campo magnetico non è troppo intenso, la relazione tra campo magnetico e altezza delle punte sembra essere rispettata.

CONCLUSIONE

Svolgere questi esperimenti ci ha aiutato a prendere consapevolezza di quanto le procedure di sintesi chimica e di analisi, nell'ambito scientifico, possano rivelarsi imprevedibili e complesse da gestire. Le difficoltà sono emerse innanzitutto a causa della limitata disponibilità del materiale necessario per la preparazione ottimale del ferrofluido, secondo la ricetta indicata nel video di riferimento. Inoltre, l'impossibilità di ottenere magnetite già contenente i tensioattivi ci ha costretti a esplorare soluzioni alternative, che hanno portato a risultati discreti, seppur non perfettamente in linea con quelli attesi seguendo scrupolosamente le fasi illustrate nel video.

La procedura adottata dal dott. Carlo Rigoni, pur presentando alcune criticità, si è rivelata indispensabile per la prosecuzione del nostro progetto. Tuttavia, non ci ha permesso di ottenere un ferrofluido conforme alla definizione standard, poiché la sospensione delle particelle, che avrebbe dovuto essere garantita dai tensioattivi presenti nell'olio d'oliva, si è dimostrata insufficiente in alcune situazioni. Nonostante i numerosi tentativi, siamo giunti alla conclusione che, per ottenere un ferrofluido di elevata qualità, il rivestimento delle particelle magnetiche con tensioattivi sia un passaggio essenziale. Purtroppo, abbiamo constatato che tale fase non era praticabile durante la creazione della magnetite.

Il nostro auspicio è quello di avere, in futuro, l'opportunità di realizzare un ferrofluido conforme alle aspettative, seguendo il video passo dopo passo e verificandone il corretto funzionamento con l'ausilio di attrezzature adeguate e dei componenti chimici necessari. Ad oggi, siamo comunque soddisfatti del risultato ottenuto, poiché il comportamento della nostra soluzione ricorda quello di un

ferrofluido. Tuttavia, la sua viscosità estremamente elevata ha compromesso l'esperimento sulla tensione superficiale, rendendolo più affine a un fluido magnetoreologico (MRF).

L'incompatibilità con la definizione di ferrofluido emerge anche dal comportamento delle punte: a seguito della riduzione del campo magnetico, i picchi non tendevano a scomparire completamente, lasciando una piccola porzione costituita principalmente da particelle di magnetite. L'elevata viscosità, dovuta all'inefficienza dei tensioattivi, ha determinato questi effetti, che non rispecchiano il comportamento atteso di un ferrofluido. Un vero ferrofluido, infatti, dovrebbe reagire ai campi magnetici formando le caratteristiche spike e, una volta rimosso il magnete, tornare a comportarsi come un comune liquido.

BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA

<https://thesis.unipd.it/handle/20.500.12608/20060>

<https://youtu.be/uLAeHVRxhAU>

https://thesis.unipd.it/retrieve/6ef53927-8bb3-4f93-be70-75c527b08f89/Tesi_L_Usai.pdf

<https://it.wikipedia.org/wiki/Ferrofluido>