



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIP. AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE  
NATURALI E AMBIENTE

Corso di laurea magistrale in Scienze e Tecnologie Alimentari

Valutazione dell'efficienza dei sistemi magnetici nella cattura di  
polvere di ferro in semilavorati di patata e mais

Relatore

Prof. Carletti Paolo

Jacopo Zurlo

Matricola n. 2021342

ANNO ACCADEMICO 2021/2022



# INDICE

<b>RIASSUNTO</b>	-----	
<b>ABSTRACT</b>	-----	
<b>INTRODUZIONE</b>	-----	<b>1</b>
<b>1.0 Sicurezza alimentare, pericoli e rischi del settore</b>	-----	<b>1</b>
<b>1.1 Aspetti normativi</b>	-----	<b>2</b>
<b>1.2 Rischio fisico da metalli e sistemi di rilevamento</b>	-----	<b>3</b>
<b>2.0 Corpi estranei metallici, origine e cattura</b>	-----	<b>5</b>
<b>2.1 Prevenzione dai corpi estranei metallici</b>	-----	<b>6</b>
<b>2.2 Metal detector e fattori di rilevazione</b>	-----	<b>7</b>
<b>3.0 Il Magnetismo</b>	-----	<b>8</b>
<b>3.1 Suscettibilità e Potenza magnetica</b>	-----	<b>9</b>
<b>3.2 Valutazione dell'intensità magnetica</b>	-----	<b>11</b>
<b>3.3 Magneti permanenti</b>	-----	<b>13</b>
<b>3.4 Separatori magnetici utilizzati nell'industria alimentare</b>	-----	<b>14</b>
3.4.1 Barre Magnetiche	-----	14
3.4.2 Griglie Magnetiche	-----	15
3.4.3 Piastre Magnetiche	-----	15
3.4.4. Magneti Cleanflow	-----	16
3.4.5 Magneti cleanflow rotanti	-----	17
3.4.6 Filtri Magnetici per liquidi e polveri sotto p	-----	17
<b>3.5 Linee guida per la selezione e l'applicazione dei magneti</b>	-----	<b>19</b>
3.5.1 Particelle ferrose rimovibili da un separatore magnetico	-----	19
3.5.2 Taratura e test dei magneti	-----	20
3.5.3 Limitazioni e vantaggi dei magneti	-----	20
<b>4.0 Dal pellet allo snack alimentare</b>	-----	<b>21</b>
<b>4.1 Fecola di patata</b>	-----	<b>22</b>
<b>4.2 Farina di mais</b>	-----	<b>23</b>

4.3 Focchi di patata	24
<b>SCOPO</b>	<b>25</b>
<b>MATERIALI &amp; METODI</b>	<b>26</b>
5.0 Limatura di ferro	26
5.1 Semilavorati	26
5.2 Filtro magnetico igienico (EHEDG) con camicia	27
5.3 Filtro magnetico igienico (EHEDG) senza camicia	27
5.4 Griglia magnetica	28
5.5 Sistema di scarico semilavorati	29
6.0 Intensità magnetica	31
6.1 Processo preliminare di taratura del sistema di scarico	31
6.2 Contaminazione dei semilavorati	36
6.3 Test di portata con filtri magnetici EHEDG e griglia magnetica	38
6.4 Purificazione del materiale raccolto	42
6.5 Analisi del contenuto di Fe presso laboratorio esterno	44
6.6 Analisi statistica	45
<b>RISULTATI E DISCUSSIONI</b>	<b>46</b>
7.0 Valutazione dell'efficienza	46
7.1 Valutazione dell'efficienza in funzione del numero di pompe	46
7.1.1 Farina di mais	46
7.1.2 Fecola di patata e focchi di patata	47
7.2 Efficienza del filtro magnetico con camicia e della griglia	49
7.2.1 Farina di mais	50
7.2.2 Fecola di patata	50
7.2.2 Focchi di patata	51
7.3 Efficienza dei filtri magnetici al variare della portata con e senza camicia	52
7.3.1 Farina di mais	53
7.3.2 Fecola di patata	54

7.3.3 Focchi di patata-----	55
7.3.4 Confronto efficienza del sistema nei tre semilavorati-----	56
7.3.4 Confronto dati di efficienza misurati presso il laboratorio esterno-----	57

**CONCLUSIONI -----59**

**BIBLIOGRAFIA -----60**

**APPENDICE-----62**



# RIASSUNTO

Tra i pericoli alimentari il problema dei corpi estranei negli alimenti è sempre stato attentamente valutato dall'industria alimentare. I frammenti metallici possono costituire un grave rischio per il consumatore e rappresentano un'importante fonte di reclami ricevuti dai produttori di alimenti, dai rivenditori e dalle forze dell'ordine. Attualmente, la maggior parte del materiale metallico estraneo riscontrato nel settore alimentare è costituito da ferro e acciaio inossidabile austenitico.

Tra le strategie per il controllo di questo materiale estraneo nel prodotto c'è l'utilizzo di magneti lungo la linea di produzione. La letteratura su questi sistemi di cattura è scarsa e non ci sono molte informazioni circa la loro efficienza di cattura.

La presente tesi riporta un lavoro sperimentale eseguito presso la ditta Mafin S.r.l. di Galliera Veneta. Sono state eseguite prove di efficienza di cattura su tre semilavorati aventi caratteristiche fisiche (granulometria, densità e scorrevolezza) differenti: fecola di patata, farina di mais e fiocchi di patata, appositamente contaminati con polvere di ferro.

I risultati hanno mostrato che all'aumentare della portata l'efficienza dei sistemi di cattura diminuisce e che i tre semilavorati hanno comportamenti ed efficienze diverse.

In conclusione, si mette in evidenza che nei tre semilavorati studiati l'efficienza di rimozione rimane elevata e costante fino a valori intermedi rispetto alle portate massime e che i filtri magnetici sono preferibili al sistema a griglia. Studi di questo tipo permettono una maggiore consapevolezza del rischio nelle diverse condizioni operative.



## ABSTRACT

Food industry is particularly concerned for the presence of foreign bodies in food. Metallic shreds represent a serious risk for the consumer and an important source of complains among food producers. At the moment, most of the metallic foreign bodies found in the food sector are composed by iron or stainless steel. Magnetic traps along the manufacturing line represent the best strategy to control this contamination. Literature on these systems is scarce and not much information is available on their efficiency.

This thesis presents an experimental work performed at Mafin S.r.l. in Galliera Veneta.

Capture efficiency trials have been performed on three *ad hoc* contaminated raw materials with different physical characteristics (granulometry, density and fluency): potato starch, corn flour and potato flakes. Results showed that increasing product flow lowers the capture efficiency and that the three products showed different behaviors and efficiencies.

In conclusion, capture efficiency remains high and constant up to intermediate flows in the three studied raw materials and magnetic filters are preferable to the grid system. Studies like the present allow for a better risk awareness in the different operational conditions.



# INTRODUZIONE

## 1.0 Sicurezza alimentare, pericoli e rischi del settore

---

Uno dei temi principali che quotidianamente vengono affrontati nel settore alimentare è quello della “*sicurezza alimentare*”, dall’industria che mira a fornire prodotti sicuri ai propri clienti fino al singolo consumatore che cerca di evitare cibi che possano danneggiare o mettere in pericolo la propria salute. Secondo la World Health Organization-FAO (2009) l’industria alimentare deve intraprendere tutte le azioni necessarie a garantire la sicurezza alimentare ed evitare ogni possibile pericolo per i consumatori. Da questo si evince che la sicurezza alimentare non può essere garantita da un approccio *ex-post* basato sul ritiro dal mercato di prodotti o alimenti potenzialmente nocivi, ma su di un criterio proattivo che comprenda tutta la filiera, dalla produzione primaria fino alla tavola del consumatore (Cárcel-Carrasco J. et al, 2021).

La sicurezza alimentare può essere quindi definita in senso più ampio come: una serie di pratiche, regole e norme volte ad assicurare che il cibo venga sempre trattato e consumato in modo salubre, igienico e privo di rischi. Sono stati sviluppati vari standards ai quali gli operatori del settore alimentare possono aderire volontariamente che indicano come gestire gli alimenti in tutte le fasi del processo produttivo; dalla preparazione e modalità di conservazione fino al trasporto e alla distribuzione al grande pubblico.

Tra questi standards ci sono l’IFS (International Featured Standards), il BRC (British Retail Consortium) o la FSSC 22000.

La sicurezza di un prodotto alimentare può essere minata da quelli che vengono definiti “*pericoli alimentari*”, ossia gli agenti biologici, chimici o fisici contenuti in un alimento o mangime o la condizione in cui un alimento si trova, in grado di provocare un effetto nocivo sulla salute di un consumatore. La probabilità che questo effetto si verifichi e la gravità dello stesso costituiscono il “*rischio alimentare*” (http 1).

I rischi alimentari appartengono, a seconda della natura, a contaminazioni chimiche, biologiche e fisiche:

- volontarie ed entro certi termini consentite (es, fitosanitari e livelli di soglia)

- involontarie ed entro certi termini consentite (es, diossine in alimenti di origine animale, batteriche)
- volontarie e non consentite (frodi alimentari, adulterazioni e sofisticazioni)
- involontarie e non consentite (come i disastri ambientali che creano contaminazione lungo la catena alimentare, es aflatossine in risposta al cambiamento climatico).

Tra i pericoli alimentari il problema dei corpi estranei negli alimenti è sempre stato attentamente valutato dall'industria alimentare.

Come corpo estraneo si intende un materiale solido, che non appartiene per composizione o per ragionevole aspettativa al prodotto nel quale viene rilevato.

In questa criticità alimentare, la gamma di oggetti riscontrati può essere molto diversificata, come: capelli, insetti, vetro, metallo. I frammenti metallici costituiscono inoltre un'importante fonte di reclami ricevuti dai produttori di alimenti, dai rivenditori e dalle forze dell'ordine.

A seconda del tipo, delle dimensioni e della struttura i corpi estranei possono causare danni alla gola e alla bocca, danni al tessuto digestivo, soffocamento, dolore alla deglutizione, danni ai denti, emorragie interne e in rari casi anche la morte (European commission, 2015).

## 1.1 Aspetti normativi

---

Il rischio fisico deve essere incluso nel sistema di analisi dei rischi e dei punti critici di controllo "HACCP" (Codex Alimentarius 2003), ma non tutte le imprese lo valutano con la dovuta diligenza. A causa dell'elevato rischio di perdita della sicurezza alimentare dovuta alla presenza di questi corpi estranei negli alimenti, è importante che l'analisi dei rischi venga sempre effettuata.

L'approccio al cibo dell'analisi dei rischi si concentra principalmente sull'identificazione dei potenziali rischi e sulla loro valutazione (Trafialek J. et al, 2016).

Il regolamento (CE) n. 178/2002 del Parlamento europeo e del Consiglio del 28 gennaio 2002 definisce il concetto di "analisi del rischio" come processo fondamentale alla base della sicurezza alimentare "dai campi alla tavola" (*from farm to fork*) costituito da tre fasi tra loro interconnesse, ossia:

1. **Valutazione del rischio** - (*Risk assessment*) - costituita da quattro fasi: individuazione del pericolo, caratterizzazione del pericolo, valutazione dell'esposizione al pericolo e caratterizzazione del rischio.
2. **Gestione del rischio** - (*Risk management*) - consiste nell'esaminare alternative d'intervento tenendo conto della valutazione del rischio e di altri fattori pertinenti e, se necessario, compiendo adeguate scelte di prevenzione e di controllo.
3. **Comunicazione del rischio** - (*Risk communication*) - riguarda lo scambio interattivo, nell'intero arco del processo di analisi del rischio, di informazioni e pareri riguardanti gli elementi di pericolo e i rischi, i fattori connessi al rischio, la percezione del rischio, la spiegazione delle scoperte relative alla valutazione del rischio e il fondamento delle decisioni in tema di gestione del rischio.

Più specificamente per quanto riguarda i corpi estranei metallici la Health Hazard Evaluation Board della FDA ha sostenuto l'azione normativa contro i prodotti con frammenti di metallo da 0,3 pollici (7 mm) a 1 pollice (25 mm) di lunghezza.

Il Federal Food, Drug, and Cosmetic Act (il FFD&C Act) vieta il commercio interstatale di alimenti adulterati. Ai sensi del FFD&C Act, un alimento contenente oggetti estranei è considerato adulterato. Anche se l'azione normativa agisce a partire da dimensioni di 0,3 pollici (7mm) gli oggetti estranei inferiori possono causare traumi o lesioni gravi a persone appartenenti a gruppi a rischio speciali, come neonati, pazienti chirurgici e anziani (Food and Drug Administration, 1999).

Non esistono però riferimenti normativi che definiscono un limite di presenza dei corpi estranei metallici di dimensioni inferiori e più in particolare del contenuto di polveri e limature metalliche, per questo molto spesso le aziende decidono di fissare un proprio limite interno per garantire un determinato livello qualitativo del prodotto ai propri clienti. In tal caso i sistemi aziendali che hanno lo scopo di ridurre la presenza di questi corpi metallici rientrano nelle buone pratiche di fabbricazione (GMP).

## 1.2 Rischio fisico da metalli e sistemi di rilevamento

---

Tra tutti i materiali estranei che possono costituire un pericolo fisico negli alimenti, i metalli sono tra i più presenti e problematici.

I corpi estranei metallici rappresentano un grande rischio di lesioni al consumatore, queste possono includere danni ai denti, lacerazione della bocca o della gola, lacerazione o perforazione dell'intestino e dei tessuti gastrointestinali ma possono anche danneggiare macchinari di valore e causare l'arresto delle linee produttive, causando notevoli perdite economiche alle aziende.

Il rischio fisico da metalli viene quindi tenuto particolarmente sotto controllo perché va ad influire su diversi aspetti, tra i quali: sicurezza del prodotto, protezione delle apparecchiature, requisiti contrattuali e conformità normativa.

La gestione di questa problematica si effettua attraverso la prevenzione e la riduzione di corpi estranei metallici mediante l'utilizzo di sistemi di rilevamento e/o rimozione quali schermi, trappole, magneti, metal detector elettronici o altri metodi adeguati.

Ci sono tre categorie principali in cui i sistemi di rilevamento dei corpi estranei possono essere suddivisi:

1. Tecniche che individuano corpi estranei mischiati con un prodotto sfuso a causa delle dimensioni o del peso differenziale tra il corpo estraneo ed il prodotto alimentare.
2. Tecniche che trovano corpi estranei mischiati con un prodotto sfuso per forma e/o colore, che sono principalmente ispezioni ottiche. La tecnologia ottica di rilevamento è ora ben consolidata, ma rimane la possibilità di sviluppo di algoritmi informatici più sofisticati per analizzare le immagini ottiche.
3. Tecniche che trovano corpi estranei sepolti all'interno di un prodotto sulla base di un'interazione tra il corpo estraneo e una parte dello spettro elettromagnetico che penetra attraverso il condotto (Chen H., et al 2020).

## 2.0 Corpi estranei metallici, origine e cattura

---

Attualmente, la maggior parte del materiale metallico estraneo riscontrato nel settore alimentare è costituito da ferro e acciaio inossidabile austenitico, poiché le apparecchiature di processo vengono realizzate utilizzando questi stessi materiali.

L'acciaio austenitico è un acciaio con più dell'8% di nichel e ha una struttura cristallina cubica a facce centrate. Insieme agli acciai ferritici e martensitici, appartiene al gruppo degli acciai inossidabili (inox) e presenta un'ottima combinazione di proprietà meccaniche e resistenza alla corrosione ([http4](#)).

Gli acciai inossidabili sono una classe di acciai contenenti quantità variabili di cromo (tipicamente 12-20%) e una gamma di proprietà magnetiche variabili a seconda del contenuto.

Tra gli acciai inossidabili austenitici i più utilizzati in ambito alimentare sono l'AISI304 e l'AISI316.

Piccole particelle di questi metalli possono liberarsi dall'attrezzatura per l'attrito dei prodotti e per l'usura dei giunti nei tubi, contaminando così il prodotto.

Gli acciai inossidabili austenitici non sono magnetizzati, ma una debole magnetizzazione si osserva attraverso la trasformazione martensitica durante lo scorrimento e gli urti.

La martensite indica in senso ristretto una forma polimorfa metastabile dell'acciaio, sovrasatura di carbonio, nel reticolo del ferro  $\alpha$ . La struttura martensitica è macroscopicamente fragile e altamente tensionata ([http 1](#)).

In senso esteso si chiamano martensitiche le strutture metastabili di qualsiasi lega metallica anche non ferrosa.

Poiché l'acciaio mostra proprietà ferromagnetiche subendo trasformazione martensitica indotta da deformazione, il sistema di separazione magnetica può essere efficace per separare tali detriti dai materiali grezzi, ma l'efficienza di tale separazione varia in funzione delle dimensioni del corpo estraneo (Nakai Y et al, 2010).

Non è particolarmente difficile rimuovere piccole particelle di acciaio inossidabile nei processi di produzione che coinvolgono flussi di polvere (Ohnishi T. et al, 2019).

È più probabile invece che le particelle di grandi dimensioni evitino di essere intrappolate dalla filtrazione magnetica a causa del loro momento più elevato, tuttavia, le particelle più grandi di 1 mm vengono rimosse utilizzando altri metodi (Chopovda V. et al 2017), come schermi, serbatoi di flottazione o metal detector elettronici.

L'efficacia di queste misure dipende dalla natura del prodotto. È più probabile che queste misure siano efficaci in liquidi, polveri e prodotti simili in cui il frammento di metallo non verrà incorporato.

L'uso dei metal detector elettronici è complesso, soprattutto per quanto riguarda l'acciaio inossidabile, che è difficile da rilevare (Fig. 2.1).

Metal Type	Magnetic Permeability	Electrical Conductivity	Ease of Detection
Ferrous (iron)	Magnetic	Good	Easy
Non-ferrous (copper, lead, aluminum)	Non-magnetic	Good or excellent	Relatively easy
Stainless steel	Usually non-magnetic	Usually poor	Relatively difficult

Fig. 2.1: Tipi di metalli e loro facilità di rilevamento (Bowser T. J., 2004)

## 2.1 Prevenzione dai corpi estranei metallici

---

Il rischio di inclusioni metalliche può anche essere controllato esaminando periodicamente l'attrezzatura di lavorazione per individuare possibili danni che potrebbero contribuire alla cessione di frammenti metallici al prodotto. Questa misura non impedirà necessariamente l'incorporazione dei frammenti, ma consentirà di separare i prodotti che potrebbero essere stati esposti a questo rischio.

L'ispezione visiva dell'attrezzatura per individuare parti danneggiate o mancanti può essere fattibile solo per attrezzature relativamente semplici, come seghe a nastro, piccoli frullatori orbitali e nastri in rete metallica. Apparecchiature più complesse che contengono molte parti, alcune delle quali potrebbero non essere facilmente visibili, potrebbero non essere adatte per l'ispezione visiva e potrebbero richiedere controlli a valle basati sul rilevamento e la separazione dei metalli già presenti sul prodotto. L'inclusione di metalli dovrebbe essere considerata un pericolo significativo in qualsiasi fase di lavorazione, una misura preventiva è o può essere utilizzata per prevenire o eliminare il pericolo (o è adeguata a ridurre la probabilità che si verifichi a un livello accettabile) se è ragionevolmente probabile che si verifichi.

Le misure preventive per l'inclusione di metalli possono includere:

- Controllo periodico dell'attrezzatura per parti danneggiate o mancanti;
- Passaggio del prodotto attraverso apparecchiature di rilevamento o separazione di metalli.

- Controllo dell'inclusione di metalli

Nella maggior parte dei casi, si dovrebbe presumere che il prodotto verrà consumato o utilizzato in modo che non vengano eliminati eventuali frammenti di metallo che potrebbero essere introdotti durante il processo. Tuttavia, in alcuni casi, se si ha la certezza che il prodotto verrà fatto passare attraverso un metal detector, attraverso schermi o magneti per la separazione di frammenti metallici, non sarà necessario identificare l'inclusione di metalli come un pericolo significativo (Food and Drug Administration, 1999).

## 2.2 Metal detector e fattori di rilevazione

---

Come sopra citato uno degli strumenti più utilizzati per l'individuazione di corpi estranei metallici nel settore alimentare è il metal detector, strumento che usa l'induzione elettromagnetica per rilevare la presenza di metalli.

I metal detectors a bobine bilanciate sono la tipologia più diffusa a livello industriale. Questi presentano una bobina di trasmissione che genera un segnale ad una frequenza ben determinata, ricevuto da due bobine bilanciate.

Il passaggio di un oggetto all'interno del campo turba l'equilibrio, e la variazione viene analizzata dal software di controllo, che segnala la presenza di contaminanti metallici.

A seconda della composizione e della forma dei frammenti metallici, la loro rilevazione può essere più o meno difficile. Maggiori sono le dimensioni, la capacità di permeabilità magnetica e la conduttività (entrambe legate alla sostanza chimica del metallo composizione), tanto più rilevabile è il contaminante metallico.

Tra gli altri fattori che influiscono sulla capacità di cattura di un metal detector, c'è l'orientamento dell'oggetto metallico. Ad esempio, se un detector non è calibrato correttamente ed è impostato per rilevare una sfera di 0,08 pollici (2 mm) di diametro, potrebbe non rilevare un filo di acciaio inossidabile di diametro inferiore ma lungo fino a 0,9 pollici (24 mm), a seconda dell'orientamento del filo mentre viaggia attraverso il rilevatore.

Inoltre, i fattori di elaborazione, come l'umidità ambientale o l'acidità del prodotto, possono influenzare la conduttività del prodotto e creare un segnale di interferenza che può mascherare l'inclusione di metalli a meno che il rilevatore non sia calibrato correttamente. È necessario considerare questi fattori durante la calibrazione e l'utilizzo di questo strumento.

## 3.0 Il Magnetismo

---

Con magnetismo si intende la proprietà di alcuni materiali di attrarre il ferro, nonché la capacità di trasmettere tale proprietà ad altri materiali.

Il fenomeno del magnetismo viene generato a partire da due sorgenti di campo di natura opposta, i poli magnetici. I poli magnetici si comportano allo stesso modo delle cariche, se simili si respingono e se opposti si attraggono.

I magneti naturali presentano inoltre una caratteristica interessante, al loro interno è sempre presente sia un polo nord che un polo sud. Se si divide in due parti un magnete si otterranno quindi due magneti del tutto simili, ciascuno con una coppia di poli opposti.

Il processo può concettualmente proseguire all'infinito, di conseguenza è ipotizzabile che il magnetismo naturale abbia origine nelle proprietà atomiche della materia. Considerando infatti ogni elettrone orbitale come una microscopica spira percorsa da corrente e tenendo anche conto del momento di spin si può intuire che collettivamente questi possano contribuire, in un mezzo materiale, a presentare un campo magnetico macroscopicamente osservabile. Occorre tenere conto però del fatto che i moti di agitazione termica tendono a disporre casualmente tutti questi microscopici dipoli magnetici, così che normalmente l'effetto magnetico complessivo sia nullo. Solo in alcuni minerali, definiti magneti naturali, i “microscopici dipoli magnetici” si auto dispongono su scala macroscopica secondo direzioni comuni, con dipoli tutti orientati nella stessa direzione formando le cosiddette regioni o domini di Weiss.

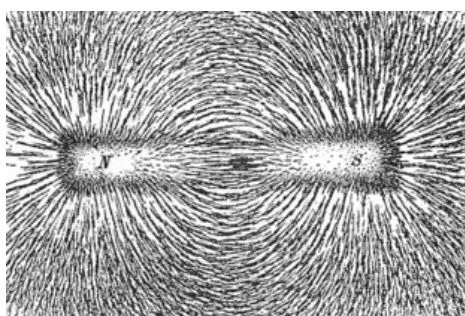


Fig 3.1: Le linee di forza di un campo magnetico generato da una calamita ([http 2](http://2))

Insieme al campo elettrico, il campo magnetico costituisce il campo elettromagnetico, responsabile dell'interazione elettromagnetica nello spazio.

In realtà, le equazioni relative al campo elettrico e quelle relative al campo magnetico, sono separate solo in apparenza, poiché sono proprio le cariche elettriche stesse che in movimento (come corrente elettrica) danno luogo al campo magnetico.

La proprietà magnetica del ferro si rifà al fenomeno del *ferromagnetismo*, ossia la proprietà di alcuni materiali, detti materiali ferromagnetici, di magnetizzarsi molto intensamente sotto l'azione di un campo magnetico esterno e di restare a lungo magnetizzati quando il campo si annulla, diventando così magneti. Questa proprietà si mantiene solo al di sotto di una certa temperatura, detta temperatura di Curie, al di sopra della quale il materiale si comporta come un materiale paramagnetico. Per il ferro, ad esempio, questa temperatura è di circa 770 °C. ([http1](#))

### 3.1 Suscettibilità e Potenza magnetica

---

Un campo magnetico esiste come risultato della presenza di un magnete permanente o di un circuito percorso da una corrente elettrica. Una forza magnetica attrattiva o repulsiva è esercitata da un campo magnetico su un materiale.

Un magnete attirerà qualsiasi materiale con una suscettibilità magnetica positiva. Mentre la maggior parte dei materiali ha una suscettibilità magnetica, solo pochi ne possiedono una che è sufficientemente alta per essere attratti dai magneti disponibili in commercio.

La maggior parte dei materiali che possono essere attratti da tali magneti contengono ferro in qualche forma, i magneti possono quindi essere usati per attirare e rimuovere oggetti ferrosi indesiderati da materie prime alimentari, semilavorati e prodotti finiti. I materiali ferrosi presenti negli alimenti presentano proprietà magnetiche differenti e quindi diversa suscettibilità magnetica.

La *suscettibilità magnetica* di un materiale è il rapporto tra l'intensità della magnetizzazione prodotta in un materiale e la forza del campo magnetico a cui è sottoposto. L'acciaio "dolce" (al carbonio) ha una suscettibilità magnetica molto elevata e quindi anche un piccolo campo magnetico lo magnetizzerà. D'altra parte, ruggine e ossidi di ferro hanno suscettibilità magnetica molto più bassa e quindi il campo magnetico richiesto per magnetizzarli è corrispondentemente più alto.

Alcuni acciai inossidabili sono magnetici e sono attratti da un campo magnetico a bassa intensità ma la maggior parte non sono magnetici, e non sono attratti nemmeno da un campo magnetico ad alta intensità in circostanze normali.

La produzione di un magnete adatto a fornire sia un campo magnetico sufficiente per magnetizzare la particella che un gradiente magnetico sufficiente per spostare la particella fino al punto di raccolta è alla base della progettazione dei magneti. Per separare le particelle ferrose indesiderate non è sufficiente solo magnetizzarle, in quanto devono essere spostate dal flusso in cui si trovano contenute a un punto in cui possono essere raccolte o rimosse.

La *potenza magnetica* deve quindi essere sufficiente per magnetizzare la componente ferrosa nel punto più lontano dal magnete che si possa verificare. Inoltre, deve superare la forza meccanica del movimento del materiale alimentare oltre il magnete e, a seconda dell'orientamento, la forza di gravità. Poiché la potenza magnetica varia come il quadrato della distanza tra il magnete e il materiale, di solito c'è una forza più che sufficiente per attrarre e trattenere il contaminante ferroso una volta che si trova nelle immediate vicinanze del magnete. Però, poiché il materiale ferroso si può accumulare sul magnete, il campo magnetico potrebbe entrare in cortocircuito attraverso il materiale (in quanto fornisce un facile percorso per le linee magnetiche di forza) riducendo la potenza magnetica e l'efficacia del magnete.

La sensibilità della separazione magnetica dipende non solo dalla potenza magnetica del magnete e dalla suscettibilità magnetica della particella ma anche dal volume e dalla forma della particella, dalla consistenza del materiale da cui deve essere estratto, dalla velocità di scorrimento del materiale attraverso il separatore e dalla gravità (questo componente può essere positivo o negativo a seconda della posizione e dell'orientamento del magnete separatore). Ulteriori fattori per i liquidi sono la viscosità del fluido e le forze idrauliche. Più il materiale è scorrevole, minore è la forza magnetica necessario per estrarre oggetti ferrosi indesiderati.

Se il materiale ha un significativo contenuto fine, comprende fibre aggrovigliate o è umido sarà necessaria una maggiore forza magnetica per superare le forze meccaniche all'interno del materiale. Maggiore è la velocità di flusso del materiale oltre il magnete, maggiore sarà la forza magnetica necessaria ad arrestare la particella e attirla verso il punto di raccolta.

Di conseguenza, è essenziale che il magnete venga pulito regolarmente per mantenere la massima efficacia.

## 3.2 Valutazione dell'intensità magnetica

---

Esiste una molteplicità di soluzioni applicative per catturare particelle ferromagnetiche presenti come contaminanti nelle industrie che producono o impiegano semilavorati.

Come sopra riportato i sistemi disponibili tipicamente prevedono l'impiego di magneti al Neodimio sulla superficie dei quali vengono catturare le particelle ferromagnetiche contenute nei semilavorati che scorrono sulla loro superficie.

Una corretta soluzione applicativa e l'impiego di magneti di forza elevata consentono un'elevata potenzialità di cattura. Di grande importanza è quindi la classificazione della forza dei magneti e della conservazione di tale capacità nel tempo.

Per conseguire questi scopi deve essere possibile misurare la forza attrattiva del magnete e monitorarla nel tempo.

Gli strumenti di misura disponibili sul mercato permettono di determinare l'intensità del campo magnetico o la forza necessaria per staccare dal magnete una sfera calibrata.

Le barre magnetiche sono costituite da un assemblaggio di elementi magnetici ed un guscio di acciaio inox "food grade" sul quale scorre il semilavorato.

La modalità di assemblaggio e l'orientamento (poli N-S) degli elementi magnetici determinano variazioni dell'intensità del campo e della forza attrattiva sulla superficie. Questo rende pressoché impossibile determinare con accuratezza una media ponderata ed è pertanto preferibile misurare l'intensità di picco. Per il fatto che gli elementi magnetici sono tipicamente piccoli e presenti in un certo numero nell'unità di cattura, sulla superficie di quest'ultima si potrà rilevare un comportamento sinusoidale della forza con un certo numero di picchi, uno per ogni elemento magnetico (Fig. 3.2).

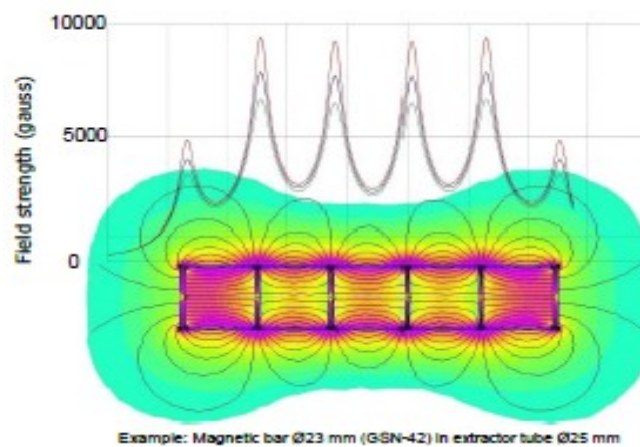


Fig.3.2: Comportamento magnetico sinusoidale di una barra magnetica

La misura più significativa che si può ottenere è quella a contatto della superficie, dove avviene la cattura delle particelle ferromagnetiche.

Lo strumento utilizzato per la misurazione dell'intensità del campo magnetico è il Gaussometro, tale capacità del sistema deriva dalla presenza del così detto elemento di Hall.

Idealmente, un elemento di Hall è formato da una piccola lastra di materiale semi-conduttore. La corrente fluisce da una estremità all'altra della lastra e la tensione su entrambe risulta equivalente in assenza di campo magnetico.

La parte sensibile della sonda di Hall (elemento di Hall) si trova nel campo magnetico e deve essere posizionata perpendicolarmente rispetto alle linee magnetiche di flusso per ottimizzare la lettura.

Applicando quindi un campo magnetico dalla superficie superiore a quella inferiore della lastra, la tensione attraverso i suoi lati è direttamente proporzionale alla densità del flusso magnetico o all'intensità del campo magnetico. Tutti i componenti effettivi della sonda di Hall risultano lineari entro certi limiti, generalmente 1% - 2%.

Le sonde di Hall sono collegate ai gaussometri, concepiti in modo da risultare lineari per ottimizzare l'utilizzo di sonde non lineari.

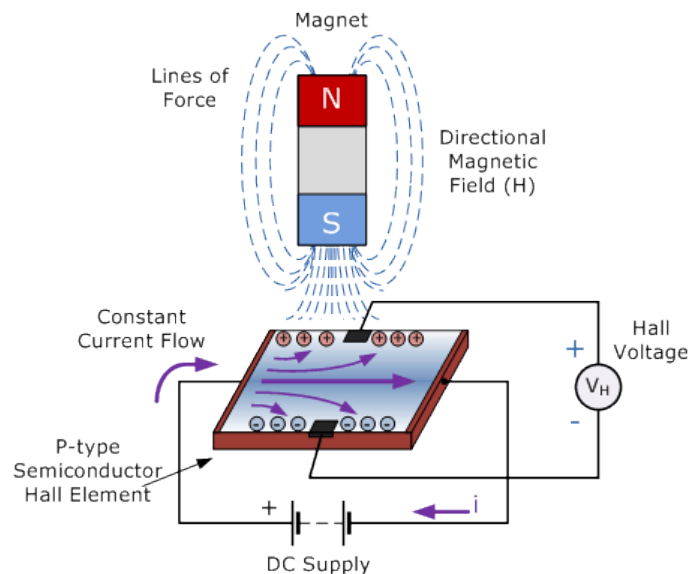


Fig.3.3: Schema funzionamento di un elemento di Hall

Il Gaussometro è formato da due parti:

1. La sonda che rileva effettivamente il campo magnetico e genera un segnale elettrico;
2. Lo strumento vero e proprio che elabora tali segnali elettrici per visualizzare le misurazioni reali lette dall'utente sul display.

Esistono due tipi di gaussometri: scalare e vettoriale. Il gaussometro scalare misura l'intensità del campo magnetico presente nell'area intorno al dispositivo. Il gaussometro vettoriale misura la direzione del campo magnetico a seconda di dove si trova il dispositivo e in quale direzione sta puntando. Un gaussometro può combinare entrambe queste tecnologie.

### 3.3 Magneti permanenti

---

I magneti permanenti standard sono generalmente composti da una lega metallica o ferrite sinterizzata che, magnetizzata, diventa magnetica.

Esistono magneti permanenti di diversa composizione, tra cui ferrite, terre rare, samario cobalto e neodimio-ferro-boro, gli ultimi sono al momento i più diffusi (Idayanti N. et al, 2020).

Con l'aumento dei volumi di produzione il costo dei magneti al neodimio-ferro-boro è diminuito al punto che, per una potenza magnetica equivalente, si avvicina a quello dei magneti in ferrite.

I magneti in neodimio-ferro-boro hanno inoltre una *rimanenza* più elevata. La rimanenza misura l'induzione magnetica o la densità di flusso magnetico che rimane in un magnete dopo la sua magnetizzazione. Più elevato è questo valore e più il magnete è potente.

Tra gli altri vantaggi questa tipologia di magneti ha anche una *forza coercitiva* più elevata, ossia l'intensità di campo necessaria a smagnetizzare completamente un magnete. Detto semplicemente: più questo valore è alto, più un magnete sarà in grado di mantenere la sua magnetizzazione quando viene esposto a un campo magnetico di segno opposto ([http 2](#)).

La forza di tutti i magneti permanenti dipende dalla temperatura. Le prestazioni dei magneti permanenti diminuiscono con l'aumentare della temperatura.

I magneti di neodimio-ferro-boro non sono adatti a temperature superiori ai 120°C. Pertanto, per applicazioni a maggiore intensità magnetica a temperature sopra i 120°C si devono usare magneti in samario-cobalto.

I separatori magnetici dotati di magneti permanenti devono essere conformi alla Direttiva CEE sulla Compatibilità Elettromagnetica (EMC) EMC89/336/ CEE.

## 3.4 Separatori magnetici utilizzati nell'industria alimentare

---

Come riportato nel testo di Edwards M. (2004) esistono cinque tipi fondamentali di separatori magnetici utilizzati nell'industria alimentare per rimuovere corpi estranei ferrosi, ossia: magneti a barra, piastre magnetiche, trappole per tubazioni, separatori a tamburo e pulegge magnetiche. I magneti a barra, i magneti a piastra e le trappole per tubazioni generalmente richiedono una pulizia manuale sebbene siano disponibili versioni a pulizia automatica. I separatori a tamburo magnetico e le pulegge sono autopulenti. I produttori di separatori magnetici producono queste apparecchiature per un'ampia varietà di applicazioni ed è indispensabile per le installazioni negli impianti nell'industria alimentare che siano utilizzati materiali da costruzione idonei.

### 3.4.1 Barre Magnetiche

---

Una barra magnetica (Fig. 3.4) è costituita da magneti permanenti in neodimio (Nd-Fe-B) cilindrici contenuti all'interno di un sottile tubo di acciaio inossidabile, generalmente di 25 mm di diametro. Una barra magnetica può essere installata singolarmente o in multipli all'interno del processo, o inserita in griglie, attraverso le quali scorre il materiale alimentare.

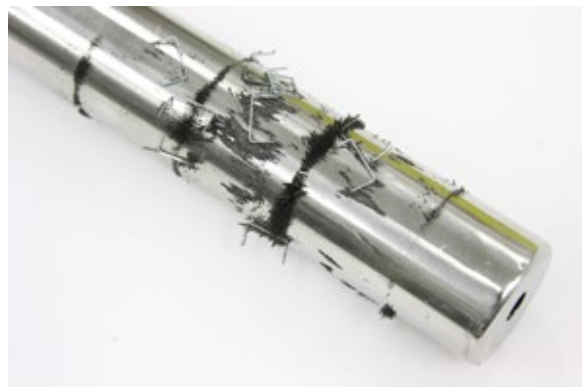


Fig.3.4: Barra magnetica

I sistemi a barre filtrano piccole quantità di ferro molto fine e particelle debolmente magnetiche come l'acciaio inossidabile lavorato da 30  $\mu\text{m}$  fino a circa 2 mm di polveri fini, liquidi e prodotti viscosi presenti nei flussi sfusi e nel trasporto in gasdotti di vari settori.

### 3.4.2 Griglie Magnetiche

---

Le griglie magnetiche sono un sistema magnetico con un potente campo magnetico, costituito da un unico strato di barre (Fig. 3.5).

Questa struttura magnetica filtra bene contaminanti ferrosi e metalli debolmente magnetici, come quelli in acciaio inossidabile, fino a 30  $\mu\text{m}$  da flussi sfusi e trasporti in condotte dove l'altezza di installazione è limitata.

Le griglie stesse possono essere costruite in gruppi a cassetto per la rimozione manuale per facilitarne la pulizia o possono essere predisposte per la rimozione automatica azionata pneumaticamente. Per polveri con scarse caratteristiche di scorrevolezza, ad es. spezie macinate, c'è il rischio che il materiale possa passare attraverso i tubi adiacenti causando così un blocco. La distanza tra i tubi per questo tipo di applicazione dovrebbe essere aumentata e per compensare la ridotta portata di file aggiuntive i magneti dovrebbero essere sfalsati per aumentare la probabilità di cattura.

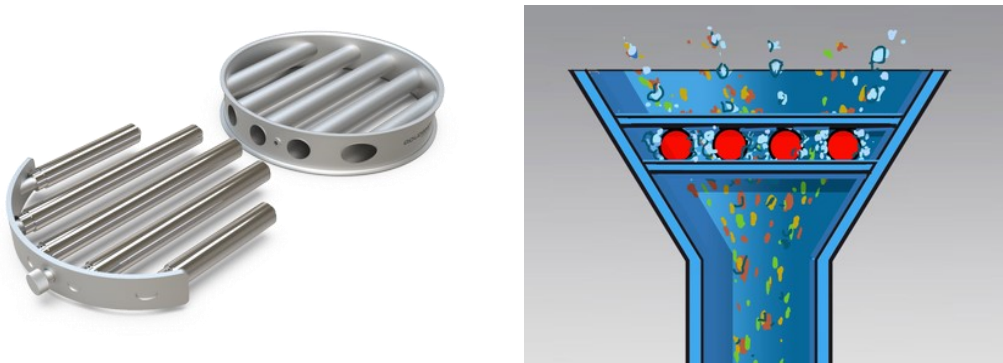


Fig.3.5: Griglia magnetica e rappresentazione del funzionamento

### 3.4.3 Piastre Magnetiche

---

Una piastra magnetica (Fig. 3.6) è una scatola rettangolare che contiene magneti permanenti. Le piastre magnetiche sono installate sopra trasportatori o alla base di scivoli, condotti o condutture.

Possono essere usate in sequenza per aumentare la probabilità di cattura di contaminanti ferrosi nonché per aumentare l'intervallo tra la pulizia.

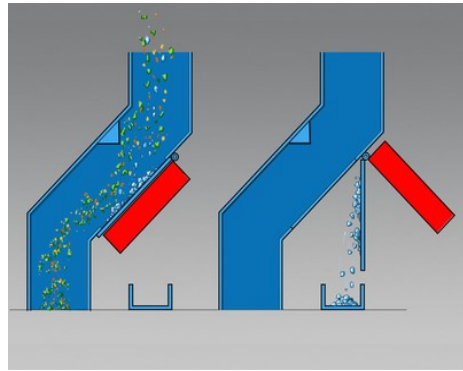


Fig.3.6: Piastra magnetica e rappresentazione del funzionamento

#### 3.4.4. Magneti Cleanflow

---

Per una separazione efficace, posizioniamo due strati di potenti barre magnetiche di neodimio sovrapposte, in un alloggiamento compatto in acciaio inossidabile; questo è un magnete cleanflow (Fig. 3.7). È dotato di sportello di ispezione e di estrattore per una rapida pulizia.

Le barre si trovano al centro del flusso del prodotto. Ciò garantisce che il prodotto passi sempre molto vicino a uno o più magneti.

I magneti cleanflow filtrano piccoli contaminanti ferrosi e materiali debolmente magnetici, come l'acciaio inossidabile AISI304, fino a dimensioni di 30  $\mu\text{m}$  in situazioni di flusso libero e secco così come in polveri grasse e materiali sfusi. Sono disponibili a tenuta di pressione, versioni antipolvere e igieniche e per portate da 2 a 90  $\text{m}^3/\text{h}$ .

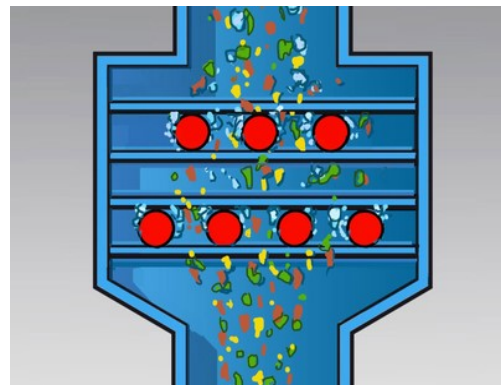


Fig.3.7: Magneti cleanflow e rappresentazione del funzionamento

### 3.4.5 Magneti cleanflow rotanti

---

I magneti rotanti cleanflow sono adatti per prodotti che scorrono male, perché sono appiccicosi o unti. Il movimento rotatorio dei magneti previene la formazione di ponti e accumuli migliorando il contatto tra magneti e prodotto. Ne risultano una migliore separazione e capacità di cattura.

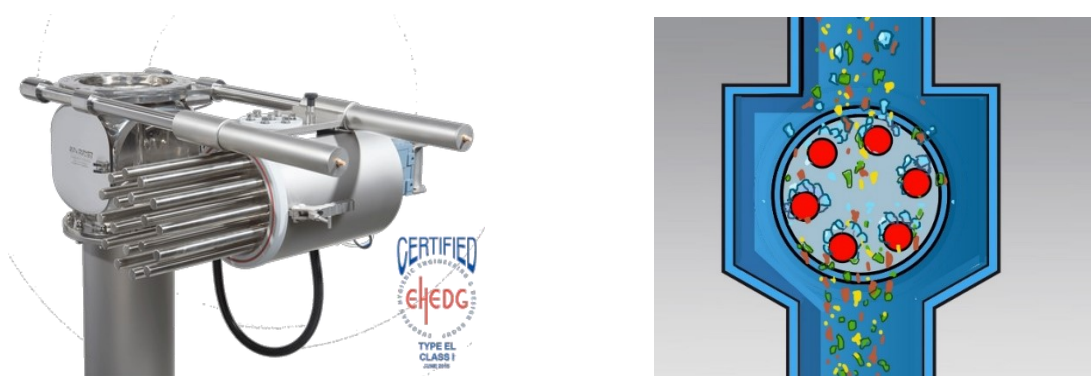


Fig.3.8: Magneti cleanflow rotanti e rappresentazione del loro funzionamento

### 3.4.6 Filtri Magnetici per liquidi e polveri sotto pressione

---

I filtri magnetici sono dotati di diverse barre magnetiche, sfalsate una sopra l'altra.

Le barre magnetiche in neodimio penetrano in profondità nel prodotto, questo permette loro di catturare anche particelle metalliche di dimensioni che vanno dai 30  $\mu\text{m}$  ai 2 mm, anche l'acciaio inossidabile molto fine può essere catturato. Queste particelle sono così piccole da non poter essere rilevate nemmeno da un metal detector.

Con questa disposizione, il prodotto tocca sempre le barre magnetiche e il magnete estrae anche le particelle ferrose più piccole da sostanze appiccicose come il cioccolato, paste, polveri e succhi di frutta.

I filtri magnetici possono essere suddivisi in tre gruppi: filtri magnetici industriali, filtri a doppia parete (spesso per cioccolato) e EHEDG (European Hygienic Engineering & Design Group) o filtri igienici.



Fig.3.9: Filtri magnetici per liquidi e polveri sotto pressione

I filtri magnetici industriali sono adatti a condizioni di elevate pressioni e possono resistere a condizioni di produzione estreme, le applicazioni tipiche sono quelle nell'industria della carta, dell'inchiostro da stampa e nell'industria chimica.

I filtri magnetico a doppia parete, sono filtri con camicia di riscaldamento, rimuovono particelle ferromagnetiche fino a 30  $\mu\text{m}$  da prodotti mantenuti fusi come nel caso del cioccolato liquido. Il prodotto rimane in forma liquida a causa dell'acqua calda presente tra le due pareti.

In fine i filtri magnetici EHEDG (Fig. 3.10) detti filtri magnetici igienici sono stati appositamente progettati per il settore alimentare e per le industrie farmaceutiche in conformità con le specifiche EHEDG.

Il filtro è dotato di barre magnetiche in neodimio che forniscono un efficace separazione di particelle di Fe molto fini (30  $\mu\text{m}$ ), di particelle debolmente magnetiche (acciaio inossidabile) e persino polvere di ferro da liquidi e prodotti in polvere (http3).



Fig.3.10: Filtri magnetici EHEDG

## 3.5 Linee guida per la selezione e l'applicazione dei magneti

---

La linea di trasformazione degli alimenti dovrebbe essere sempre esaminata per identificare come potrebbero essere introdotti nel sistema i diversi tipi di contaminanti.

È importante che i materiali metallici ferrosi vengano rimossi dalle materie prime e in seguito alle operazioni in cui è probabile che vengano introdotti, quali: taglio, polverizzazione, vagliatura, triturazione, frantumazione e sfaldamento in cui frammenti dell'attrezzatura potrebbero staccarsi ed essere introdotti nel prodotto.

Bisogna considerare anche la posizione per quanto riguarda la velocità di flusso del materiale, la profondità del materiale e altri fattori, poiché ciò influenzerà il tipo, le dimensioni e il costo del magnete. Tutti i dispositivi magnetici devono essere realizzati in modo tale da fornire un'adeguata protezione e accessibilità per pulizia.

Il sito in cui le materie prime vengono ricevute e/o disimballate è una potenziale fonte di contaminazione ferrosa. Se le materie prime contengono regolarmente materiali ferrosi, il fornitore dovrà essere informato in modo che possa agire in maniera appropriata per ridurre la quantità di materiale ferroso in entrata nel processo.

I magneti dovrebbero precedere i metal detector per ridurre il numero di interruzioni indotto dai metal detector. Se il prodotto è a flusso libero come zucchero, tè o cereali per la colazione, i magneti dovrebbero essere attivati immediatamente prima dell'imballaggio e in combinazione con un metal detector per eliminare contaminanti ferrosi prima della spedizione.

### *3.5.1 Particelle ferrose rimovibili da un separatore magnetico*

---

L'ordine decrescente della suscettività magnetica dei materiali ferrosi è il seguente: ferro, acciaio dolce, acciaio inossidabile magnetico, ruggine, scaglie, acciaio inossidabile non magnetico. Esistono vari tipi di acciaio inossidabile, la maggior parte di cui non magnetici. L'azione usurante del passaggio del materiale alimentare sull'acciaio inossidabile lo rende magneticamente suscettibile.

La forza magnetica che agisce su una particella dipende dal volume della particella, più è grande e tanto maggiore è il numero di linee di forza che possono passare attraverso di esso. Pertanto, una particella più grande può essere estratta più facilmente di una particella più piccola con uguale suscettività magnetica.

La forma di un contaminante ferroso è un fattore della forza attrattiva. La particella più facilmente catturabile per un separatore magnetico è un filo, mentre la più difficile è una sfera.

### *3.5.2 Taratura e test dei magneti*

---

L'intensità di campo di un separatore magnetico deve essere controllata regolarmente (annualmente o semestralmente, più frequentemente se i magneti sono soggetti a shock termici o meccanici) utilizzando un gaussometro commerciale, dotato di una sonda con effetto Hall. Il gaussometro deve essere regolarmente calibrato utilizzando un magnete di riferimento.

### *3.5.3 Limitazioni e vantaggi dei magneti*

---

Uno dei limiti nell'utilizzo dei magneti è la sola rimozione del materiale magneticamente sensibile. Di conseguenza, sono adatti per la maggior parte dei contaminanti ferrosi ma non possono essere utilizzati per quelli non ferrosi.

I magneti non possono inoltre rimuovere oggetti ferrosi che sono incorporati in alimenti trasformati come biscotti, torte e pane o in prodotti confezionati, in scatola o in bottiglia.

I separatori magnetici sono relativamente economici e sono lowtech quindi richiedono pochissime abilità dell'operatore per l'installazione, il funzionamento, la pulizia e la manutenzione.

Il materiale ferroso viene rimosso dal materiale lavorato e può essere raccolto e analizzato per determinarne l'origine, il che significa che possono essere prese misure per ridurre l'incidenza dell'ingresso di metalli ferrosi.

Un altro vantaggio è che c'è uno spreco di prodotto estremamente ridotto quando si utilizza un magnete, mentre i sistemi di deviazione utilizzati in combinazione con i metal detector possono portare a perdite significative di prodotto a cui si aggiungono i costi di smaltimento.

Un ulteriore vantaggio è la riduzione del costo di manutenzione dell'impianto, grazie alla rimozione del metallo prima che il prodotto passi attraverso frantoi, polverizzatori, filtri, setacci ecc., aumentando la loro durata e riducendo l'accecamiento di setacci e vagli (Edwards M., 2004).

## 4.0 Dal pellet allo snack alimentare

---

Con snack ci si riferisce ad una particolare categoria di alimenti dolci e salati che vengono consumati per attenuare temporaneamente la fame o più comunemente per soddisfare un piacere personale.

Sono generalmente prodotti industriali. Nati inizialmente come alimenti altamente calorici e a basso contenuto nutrizionale, si stanno ora evolvendo in prodotti attenti agli aspetti salutistici.

Non tutti sanno però che una grande varietà di snack che i consumatori trovano nei negozi alimentari in tutto il mondo è ottenuta dai pellets, un semilavorato alimentare destinato ad essere espanso tramite trattamento termico, generalmente la frittura, aromatizzato, confezionato e distribuito dai produttori di snack.



Fig. 4.1: Pellet e snack finito a confronto

Tutti i pellets e di conseguenza gli snack che ne derivano possono essere realizzati a partire da una vasta gamma di semilavorati, tra i più comuni si trovano la fecola di patata e la farina di mais. Recentemente si è osservato un incremento nella richiesta di prodotti a base di lenticchie e riso.

Nei test dell'elaborato verrà valutata l'efficienza di cattura dei magneti in tre semilavorati utilizzati nella produzione di questi snack, ossia: fecola di patata, farina di mais e fiocchi di patata.

Sono state prese in considerazione queste tre tipologie di semilavorati per le loro diverse caratteristiche di scorrevolezza e per il loro diverso modo di comportarsi se trasportati da un flusso d'aria.

In particolare, la fecola di patata presenta elevata scorrevolezza ma anche elevata densità, questa porta alla possibile formazione di blocchi di materiale che potrebbero portare ad un trasporto a "singhiozzo".

La farina di mais presenta una scorrevolezza intermedia ma può generare degli agglomerati capaci di trattenere le particelle metalliche presenti nel flusso.

In fine i fiocchi di patata presentano anch'essi una bassa scorrevolezza ma non sono inclini a generare agglomerati di materiale per la loro bassa densità (http6).

## 4.1 Fecola di patata

---

La fecola di patata si presenta come una polvere bianca ottenuta dall'estrazione dell'amido dai tuberi della pianta della patata. Questa materia prima si ottiene a partire dalla macinazione delle patate che porta alla liberazione dei granuli di amido (amiloplasti), l'amido viene successivamente centrifugato, lavato ed essiccato assumendo l'aspetto di una farina.

Essendo totalmente inodore e priva di gusto è usata come addensante per creme e nella pasticceria in generale, in quanto se riscaldata in acqua forma un gel. Trova applicazione non solo nella preparazione di torte e altri dolci da forno ma anche nella produzione di snack dove garantisce l'espansione desiderata.

Vista l'assenza di glutine può essere utilizzata per la produzione di prodotti Gluten Free.

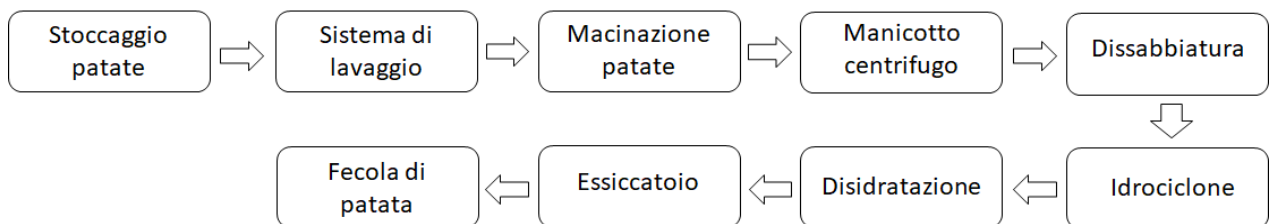


Fig. 4.2: Diagramma di flusso del processo produttivo della fecola di patata



Fig. 4.3: Fecola di patata

## 4.2 Farina di mais

---

La farina di mais è un prodotto che si ottiene dalla raffinazione del mais. Non va confusa con l'amido di mais o maizena: sebbene, infatti, entrambi i prodotti siano derivati da particolari lavorazioni del chicco di mais, la maizena è un prodotto derivato dalla macinazione del solo endosperma (la parte del chicco di mais compresa tra l'involucro esterno e il germe del seme), mentre la farina di mais è integrale (contiene cioè anche la parte esterna del seme, ovvero il rivestimento fibroso, e quella interna, ovvero il germe). In base al livello di macinatura del mais si ottengono farine composte da granuli di diversa grandezza.

Priva di glutine, è adatta anche all'alimentazione degli intolleranti al glutine e dei celiaci ([http5](http:5)).

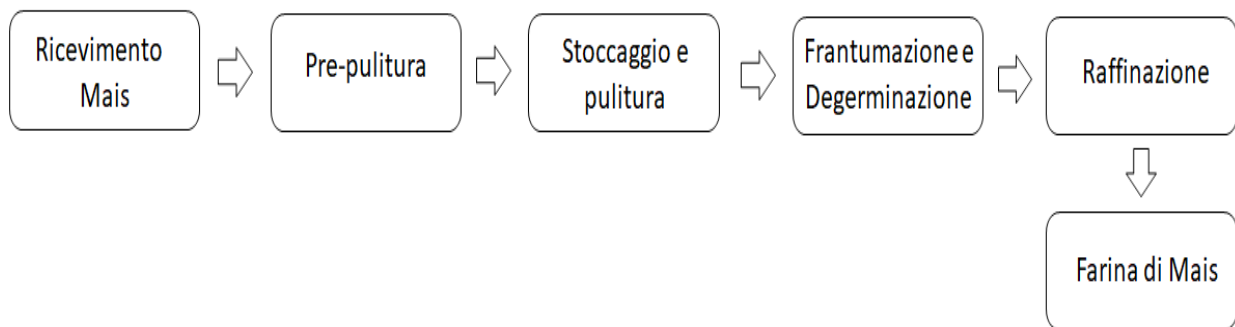


Fig. 4.4: Diagramma di flusso del processo produttivo della farina di mais



Fig. 4.5: Farina di mais

## 4.3 Fiocchi di patata

---

I fiocchi di patata sono pezzi piatti di purè di patate disidratate. Le patate vengono lavate, sbucciate, tagliate e cotte a vapore.

Le patate vengono poi schiacciate da dei rulli sulla superficie di un tamburo. Il purè di patate così ottenuto viene essiccato rapidamente fino al raggiungimento dell'umidità desiderata; quindi, lo strato di purè di patate essiccato viene raschiato dal tamburo. Questo foglio viene frantumato da un setaccio e le scaglie risultanti vengono quindi confezionate.

Per ottenere poi il semilavorato destinato alla produzione di pellet alimentari queste scaglie vengono macinate.

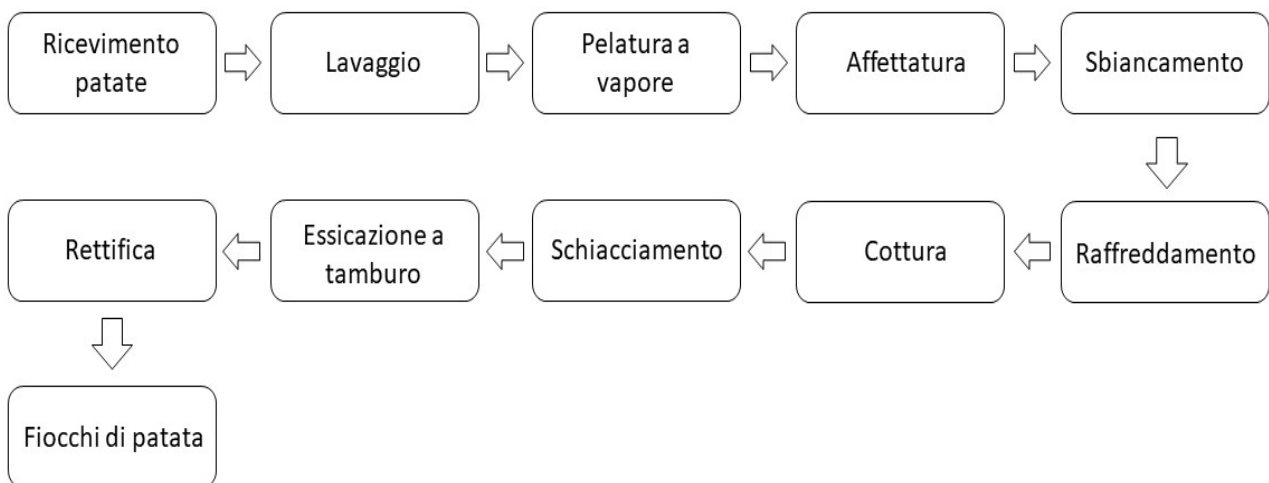


Fig.4.6: Diagramma di flusso del processo produttivo dei fiocchi di patata



Fig.4.7: Fiocchi di patata

## SCOPO

La contaminazione da polveri metalliche è uno dei rischi alimentari presenti nell'industria del pellet: la produzione di materie prime e semilavorati, infatti, è una possibile sorgente di inquinante metallico. Tra le strategie per il controllo di questo materiale estraneo nel prodotto c'è l'utilizzo di magneti lungo la linea di produzione. La letteratura su questi sistemi di cattura è scarsa e non ci sono molte informazioni circa la loro efficienza di cattura.

La presente tesi riporta un lavoro sperimentale eseguito presso la ditta Mafin S.r.l. di Galliera Veneta. Lo scopo dell'elaborato è quello di valutare come diversi parametri di lavoro vanno ad influire sulla funzionalità e in particolare sull'efficienza dei sistemi magnetici adottati per la cattura di polveri ferromagnetiche.

I parametri valutati sono stati: la variazione di portata dell'ingrediente, la variazione di portata del fluido (aria) utilizzato per il trasporto dell'ingrediente, ottenuta variando il numero di pompe utilizzato per la generazione del vuoto nel trasporto pneumatico e la tipologia di magneti utilizzati (filtri magnetici EHEDG con camicia metallica, filtri magnetici EHEDG senza camicia metallica e griglia magnetica).

I test sono stati eseguiti su tre semilavorati aventi differente granulometria e scorrevolezza, in particolare le prove sono state effettuate su fecola di patata, farina di mais e fiocchi di patata.

# MATERIALI & METODI

## 5.0 Limatura di ferro

---

Per i test è stata utilizzato come contaminante artificiale della limatura di ferro ottenuta da un fornitore. In seguito all'analisi del Fe totale eseguita da un laboratorio esterno con il metodo MP 1288 rev. 20 2021 è stata riscontrata una purezza in Fe del 99%.

Le particelle hanno granulometria inferiore ai 400 $\mu$ m.

## 5.1 Semilavorati

---

Come riportato nel capitolo introduttivo per la realizzazione dei test sono stati scelti tre semilavorati differenti, questo per valutare l'efficienza dei sistemi magnetici non solo al variare di determinati parametri ma anche al variare del prodotto trasportato nell'impianto pneumatico.

Questi presentavano caratteristiche fisiche differenti tra loro, come da specifica tecnica:

*Fecola di patata:*

- Purezza = 100%
- Granulometria = <0,2 mm

*Farina di mais:*

- Purezza = 100%
- Granulometria = <0,600mm

*Fiocchi di patata:*

- Purezza = 99,4%
- Granulometria = >0,425 (3-25%)

## 5.2 Filtro magnetico igienico (EHEDG) con camicia

---

Il primo sistema magnetico utilizzato nei test è un filtro magnetico EHEDG per liquidi e polveri sotto pressione. Il sistema posto al di sotto della scarica sacconi a valle della coclea di dosaggio è costituito da un blocco di 5 barre magnetiche posizionate all'interno di una camicia metallica "food grade" (Fig. 5.1).

L'intero sistema viene posto perpendicolarmente al flusso del semilavorato all'interno della tubazione di trasporto.

Il processo di raccolta del Fe adesivo al sistema avviene rimuovendo prima il blocco magnetico (magnete + camicia) dalla tubazione. In seguito, estraendo le barre magnetiche dalla camicia metallica verrà a mancare il campo magnetico che fa aderire la polvere metallica alla camicia, che per gravità cadrà a terra.

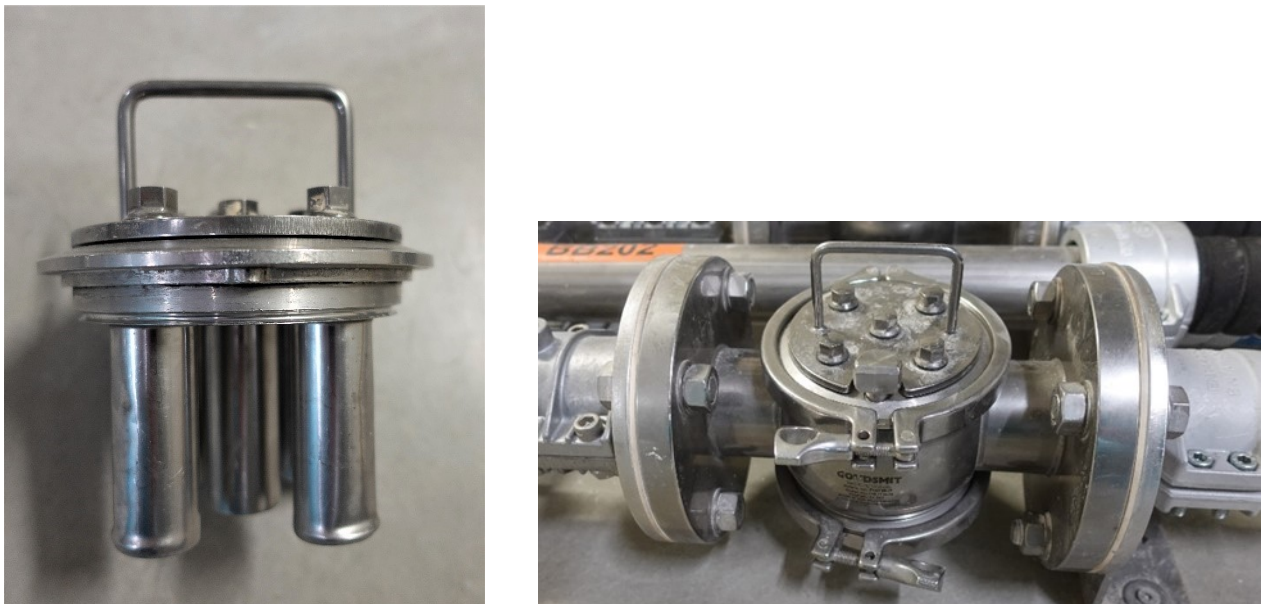


Fig.5.1: Filtro magnetico igienico (EHEDG) con camicia e postazione magnetica

## 5.3 Filtro magnetico igienico (EHEDG) senza camicia

---

Questo secondo filtro magnetico è una variazione del primo sistema, è stato realizzato eliminando la camicia metallica di copertura e prolungando le "candele" magnetiche con dei cilindri in bronzo.

Eliminando la camicia il semilavorato si troverà direttamente a contatto con le barre magnetiche evitando la schermatura dovuta alla presenza della stessa, aumentando così lo spazio tra barra e barra il passaggio del materiale sarà facilitato.

Il blocco è posto nella stessa identica posizione del sistema precedente.

La rimozione del materiale adeso si effettua prima estraendo il blocco magnetico dalla tubazione e successivamente sfilando le barre magnetiche dal disco metallico di supporto dotato di guarnizioni a tenuta che spingono la limatura verso i cilindri in bronzo, i quali non essendo magnetici la faranno cadere a terra (Fig. 5.2).

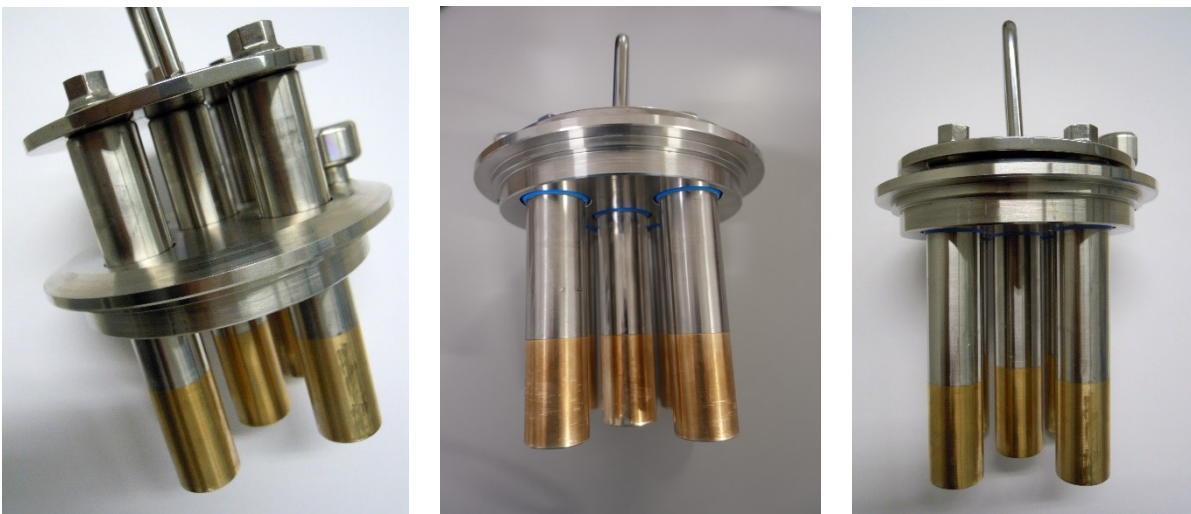


Fig.5.2: Filtro magnetico igienico (EHEDG) senza camicia e sistema di rimozione

## 5.4 Griglia magnetica

---

Il terzo sistema è una griglia magnetica, ossia un sistema costituito da un unico “strato” di barre magnetiche parallele in neodimio inserite su di una camicia metallica “food grade” (Fig. 5.3). In questo caso il sistema è stato inserito perpendicolarmente ma nella parte verticale del trasporto pneumatico in uscita dalla coclea di dosaggio, il semilavorato attraversa così il magnete per gravità e non viene influenzato dal vuoto generato dalla pompa PMP213.

La raccolta del materiale è stata realizzata anche in questo caso con la rimozione della griglia dal sistema di trasporto e in seguito per estrazione del sistema di barre dalla camicia metallica non magnetica.



Fig. 5.3: Griglia magnetica

## 5.5 Sistema di scarico semilavorati

---

Il sistema di scarico è costituito da un paranco per il sollevamento di sacconi (big bags) dal peso di 1 tonnellata di materiale posto sopra la tramoggia di scarico FHP201 riportata in Fig.5.4.

Sulla base inferiore del sistema è presente una coclea di dosaggio (M) utilizzata per il dosaggio del materiale scaricato e attraverso la quale è possibile variare la portata dello scarico.

Il flusso del materiale nella tubazione viene inoltre garantito dalle 2 pompe PMP213, che attraverso la generazione del vuoto all'interno del silo 254 permettono un facile scorrimento dei semilavorati.

A valle della coclea, nella parte iniziale della tubazione sono presenti le postazioni nelle quali sono stati posizionati i filtri magnetici EHEDG con e senza camicia (1) e la griglia magnetica (2).

Il materiale scaricato dalla tramoggia FHP201 viene inviato, mediante aspirazione al silo S254. Da qui viene prelevato e pesato con la bilancia SC2021, per poi finire in uno saccone di raccolta scarti, posizionato sotto la bilancia SC201.

Lo scarico del materiale in continuo viene garantito dall'utilizzo di un vibratore e di un martello azionabili manualmente.

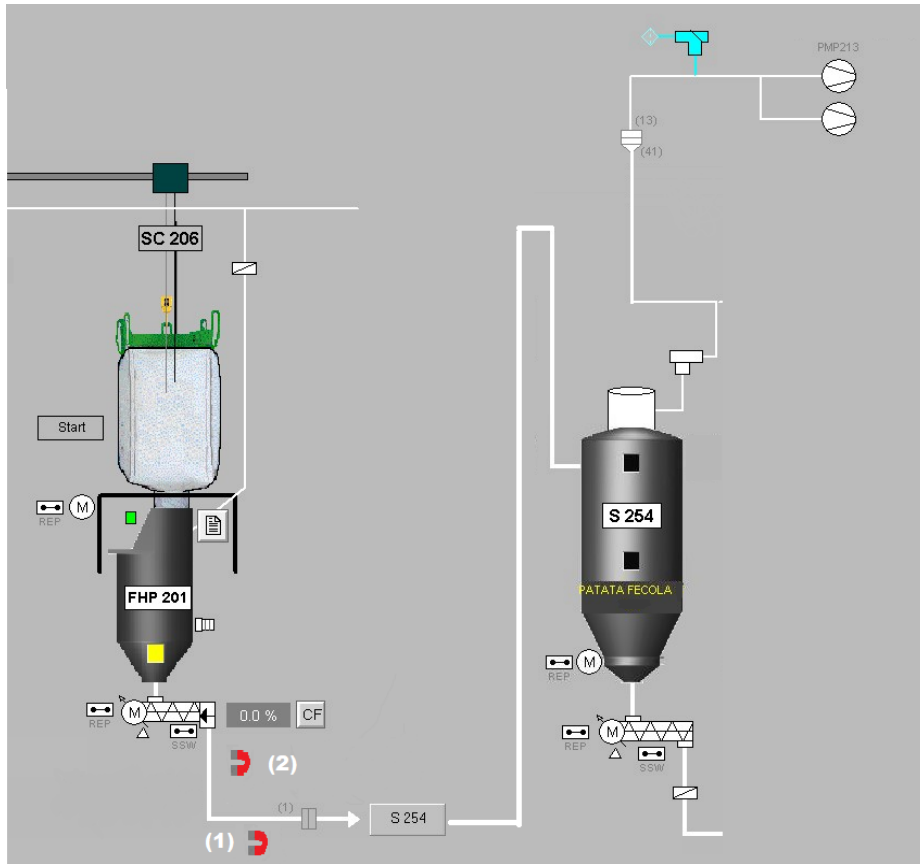


Fig. 5.4: Sistema di scarico semilavorati

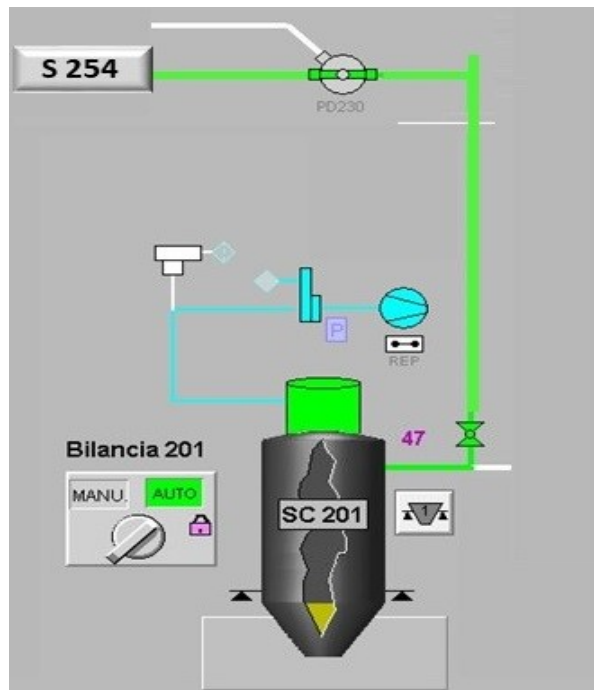


Fig. 5.5: Bilancia industriale posta a valle del sistema di scarico

## 6.0 Intensità magnetica

---

Lo strumento utilizzato per la determinazione dell'intensità magnetica nei dispositivi magnetici adottati nei test è stato un Gaussometro GM08, della Magnetic Instruments Ltd.

Per la realizzazione delle misure strumento è stato impostato in modalità DC con range automatico.

Una volta azionato lo strumento è stata posizionata la sonda di Hall con la sua parte sensibile a inizio della barra magnetica, a contatto e orientata perpendicolarmente.

Durante lo scorrimento lo strumento è in grado di rilevare e segnalare nel display il valore d'intensità misurato.

La sonda è stata fatta scorrere lentamente in prossimità degli elementi magnetici disposti lungo la barra permettendo il rilevamento dei valori di picco.

La misura è stata ripetuta tre volte per ogni elemento di due barre del sistema magnetico utilizzato, essendo le altre di uguale fattura. Si è passati poi al calcolo della media dei picchi registrati. La misura dell'intensità magnetica è stata registrata in Gauss.

## 6.1 Processo preliminare di taratura del sistema di scarico

---

Precedentemente alla realizzazione dei test di valutazione dell'efficienza dei magneti sono state fatte delle prove di taratura del sistema di scarico che hanno permesso di determinare:

- La portata massima di trasporto di ogni ingrediente, al fine di evitare l'intasamento delle tubazioni di trasporto che avviene ad una pressione di -600mbar, indipendentemente dal tipo di ingrediente.
- La variazione di portata per ogni ingrediente al variare del numero di giri della coclea di scarico.
- Se ci fossero perdite di materiale lungo il sistema.

Questi test sono quindi serviti a settare i parametri che successivamente sono stati utilizzati nei test veri e propri.

Per ogni semilavorato sono stati quindi eseguiti degli scarichi a portate e tempi differenti in modo tale da valutare se il sistema fosse in grado di effettuare pesate costanti e per decidere le portate da usare nei test.

Per quanto riguarda la fecola di patata sono stati fatti test a portate del 5%,15%, 25% e 35%, constatando che al 40% il sistema si arrestava per sovraccarichi.

Per portate del 5% e del 15% sono stati fatti test da 1min e per portate del 25% e 35% da 2min, questo per garantire che per ogni scarico ci fosse il passaggio di un significativo quantitativo di semilavorato, condizione necessaria al fine di valutare l'efficienza dei sistemi magnetici.

Per verificare che non ci fossero perdite di materiale lungo il sistema di trasporto dal silo 254 alla bilancia SC201 sono state fatte anche delle prove di verifica del peso eseguite manualmente attraverso lo scarico del materiale direttamente dal fondo del silo 254 che è stato raccolto in sacchi e successivamente pesato con una bilancia a pavimento. Si è osservata una costanza e una coerenza nelle pesate dalla bilancia SC201 alla bilancia a pavimento.

Nella tabella 6.1 che segue sono riassunti i dati relativi alla fecola di patata.

% Dosaggio	Kg Scaricati	Tempo (min)	Media Kg	Deviazione standard	Deviazione standard %	Kg/h
5%	17,02	2	17,436	0,37	2,13	510,6
5%	17,92	2				537,6
5%	17,24	2				517,2
5%	17,28	2				518,4
5%	17,72	2				531,6
15%	54,7	2	55,024	1,02	0,85	1641
15%	55,56	2				1666,8
15%	54,44	2				1633,2
15%	55,4	2				1662
15%	55,02	2				1650,6
25%	45,83	1	45,858	2,94	2,28	2749,8
25%	44,4	1				2664
25%	46,56	1				2793,6
25%	47,1	1				2826
25%	45,4	1				2724
35%	67,49	1	67,164	1,41	1,19	4049,4
35%	67,82	1				4069,2
35%	67,76	1				4065,6
35%	65,92	1				3955,2
35%	66,83	1				4009,8

Tabella 6.1: Risultati test di taratura su fecola di patata

Una volta ottenuti tutti i dati dalle prove è stato calcolato l'errore percentuale che ha dato per tutte le prove di portata un valore <5%, garantendo quindi la ripetibilità del sistema.

In seguito alla raccolta dei dati è stata fatta poi una retta di taratura, utilizzata successivamente per calcolare il tempo necessario allo scarico del quantitativo di semilavorato utilizzata in ogni test (50Kg).

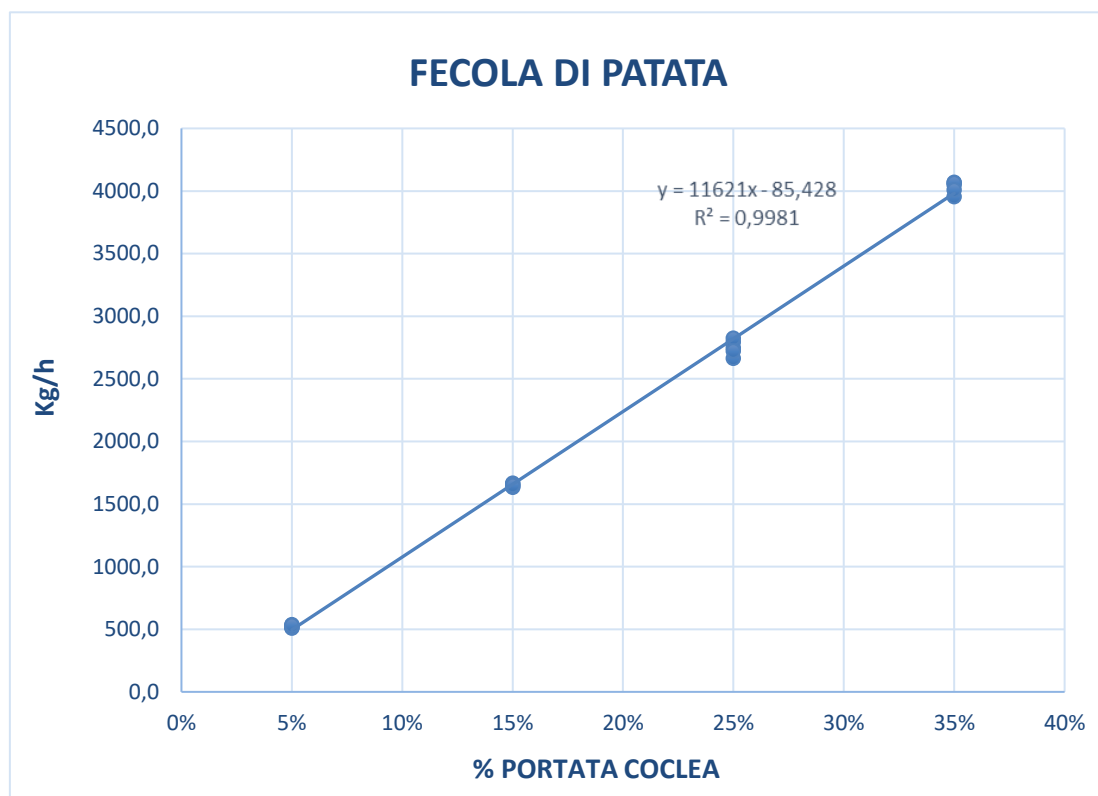


Fig.6.1: Retta di taratura fecola di patata

Allo stesso modo le prove di taratura sono state eseguite anche per farina di mais e fiocchi di patata ripetendo i test alle diverse portate non più 5 volte ciascuno ma 3 cadauno, questo perché si è osservata sin da subito una linearità delle pesate, come verificabile in Tabella.6.1.

Per i due materiali sono state però utilizzate portate differenti, per la farina di mais il limite massimo è stato il 25%, mentre per i fiocchi è stato il 30%. Al di sopra di questi valori, infatti, si registravano pressioni inferiori ai -600mbar che inducevano ad un arresto del sistema con conseguente blocco di materiale nella tubazione di trasporto.

Di conseguenza le prove sono state eseguite a valori del 5%, 15% e 25% per la farina di mais e del 5%, 10%, 20% e 30% per i fiocchi di patata.

% Dosaggio	Kg scaricati	Tempo (min)	Media Kg	Deviazione standard	Deviazione standard %	Kg/h
5%	28,94	3	28,05	0,880	3,14	578,8
5%	28,04	3				560,8
5%	27,18	3				543,6
15%	53,5	2	53,98	0,884	1,64	1605
15%	53,44	2				1603,2
15%	55	2				1650
25%	42,98	1	43,54	0,726	1,67	2578,8
25%	44,36	1				2661,6
25%	43,28	1				2596,8

Tabella 6.2: Risultati test di taratura su farina di mais

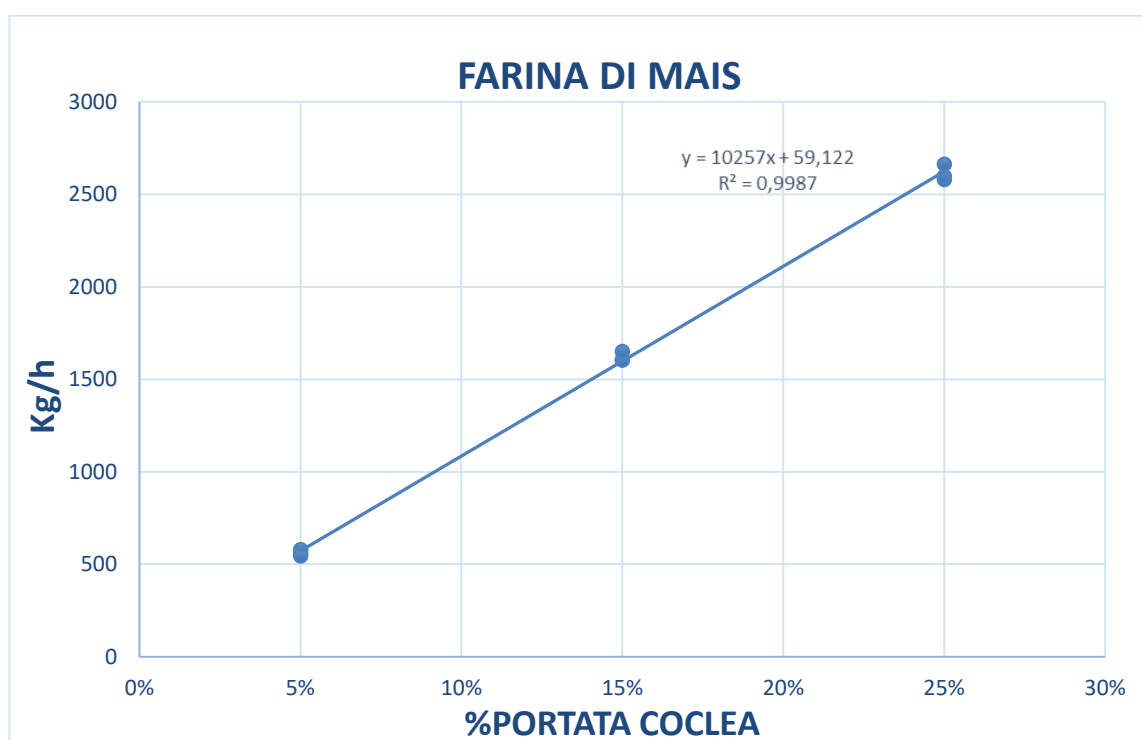


Fig.6.2: Retta di taratura farina di mais

% Dosaggio	Kg scaricati	Tempo (min)	Media Kg	Deviazione standard	Deviazione standard %	Kg/h
5%	36,2	3	36,567	0,473	1,29	724
5%	36,4	3				728
5%	37,1	3				742
10%	53,9	3	54,100	0,200	0,37	1078
10%	54,3	3				1086
10%	54,1	3				1082
20%	59,7	2	60,067	0,404	0,67	1791
20%	60	2				1800
20%	60,5	2				1815
30%	86,5	2	86,700	0,529	0,61	2595
30%	86,3	2				2589
30%	87,3	2				2619

Tabella 6.3: Risultati test di taratura su fiocchi di patata

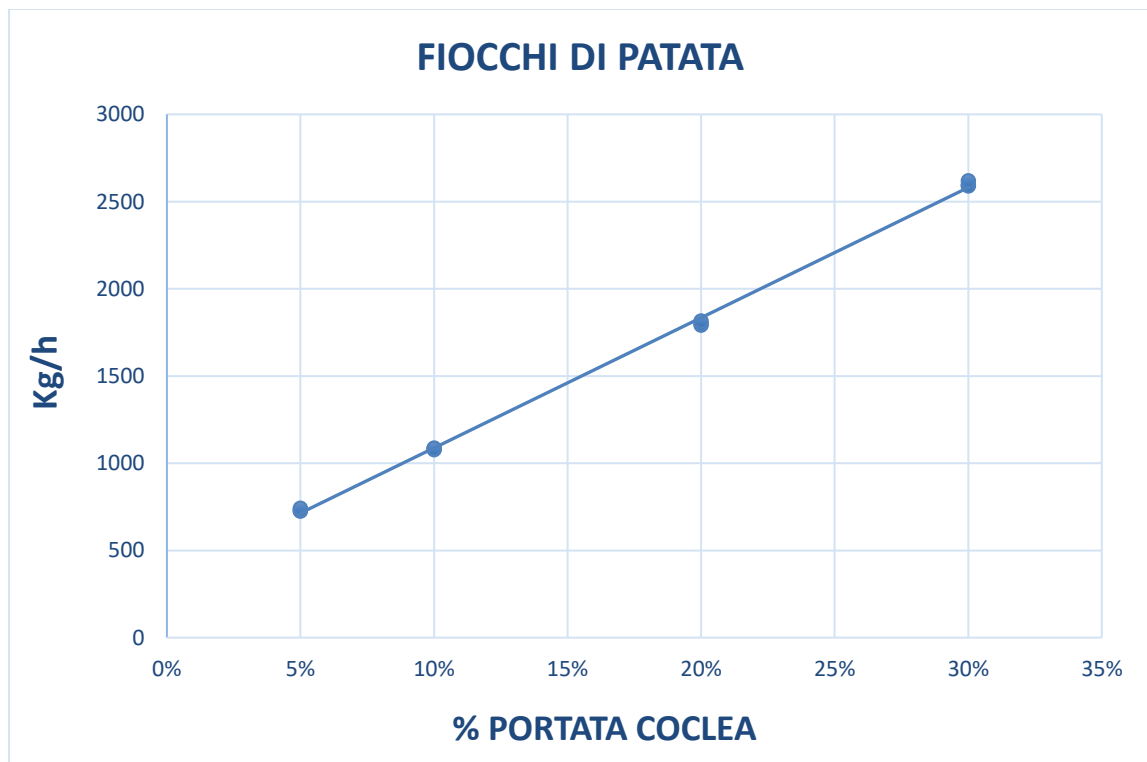


Fig.6.3: Retta di taratura fiocchi di patata

In funzione di queste rette di taratura è stato calcolato il tempo necessario per ottenere il passaggio di 50 Kg di semilavorato alle portate oggetto di studio. I valori sono riportanti in tabella 6.4.

Semilavorato	Retta di taratura della portata	Portata Coclea (%)	Kg/h	Tempo per il passaggio di 50 Kg (min)
Fecola di patata	$y = 11621x - 85,428$ $R^2 = 0,9981$	10	1076,672	2,78
		25	2819,82	1,06
		35	3981,92	0,75
Farina di mais	$y = 10257x + 59,122$ $R^2 = 0,9987$	10	1048,82	2,86
		15	1597,67	1,87
		25	2623,37	1,14
Fiocchi di patata	$y = 7466,1x + 340,84$ $R^2 = 0,999$	10	1087,45	2,75
		16	1535,42	1,95
		22	1983,38	1,51

Tabella 6.4: Tempi di scarico test di taratura

## 6.2 Contaminazione dei semilavorati

---

Per valutare l'efficienza dei sistemi magnetici aziendali si è preferito contaminare i tre semilavorati con una quantità nota e costante di polvere ferrosa. Questa per permettere di:

- a. standardizzare i test e di comparare i risultati ottenuti riducendo gli errori causati da eventuali contaminazioni puntiformi della materia prima
- b. ridurre l'incertezza dei risultati analitici
- c. eseguire i test in condizione di "stress" dei magneti, senza tuttavia raggiungere il livello di saturazione degli stessi.

A tal proposito è stata fatta passare per i magneti una quantità nota di polvere pura, quindi in assenza di materiale, constatando che la quantità massima media trattenuta era di 18.5 g.

Tenendo conto delle possibili perdite in cattura dovute all'adesione di piccole frazioni di semilavorato sulla superficie del magnete e a possibili variazioni dei parametri della fase di scarico si è deciso di

utilizzare una dose di 10g di polvere di ferro in 50Kg di semilavorato per test, ovvero una quantità di poco superiore al 50% della capacità di cattura massima del magnete.

Suddetta quantità è stata dispersa in 50Kg di semilavorato per test.

La contaminazione è stata effettuata grazie all'utilizzo di un sistema di miscelazione aziendale (miscelatore + polmone), utilizzato generalmente per garantire una miscelazione omogenea delle materie prime nelle ricette aziendali.

Precedentemente alla fase di miscelazione il miscelatore ed il polmone sottostante sono stati accuratamente puliti dai residui di altre preparazioni ed "avvinati" con lo stesso semilavorato utilizzato nel test (circa 1000 kg). Lo stesso procedimento è stato adottato per tutte le parti dell'impianto coinvolte nella preparazione del materiale contaminato per il test.

Conclusa la pulizia ognuno dei tre semilavorati è stato in primo luogo trasferito dai silos esterni in cui era stoccato alla bilancia SC201 per la pesatura. Una volta pesato è stato trasferito al miscelatore M11 (Fig.6.4).

Nel miscelatore è stato aggiunto manualmente il quantitativo di Fe prestabilito (200g/1000Kg), questa fase è stata preceduta da una premiscelazione di aliquote di Fe con alcuni Kg di semilavorato all'interno di un sacchetto, agitando il tutto e riversandolo all'interno del miscelatore.

Per ogni 200g di Fe sono state eseguite almeno 5 premiscelazioni.

Il miscelatore è stato poi lasciato in funzione per 20 minuti per completare il processo di omogenizzazione.

Una volta miscelata la prima carica questa è stata fatta passare al polmone sottostante dove ha sostenuto un secondo ciclo di miscelazione da 20 minuti.

Il materiale miscelato è stato poi scaricato all'interno di un saccone attraverso un apposito sistema di scarico.

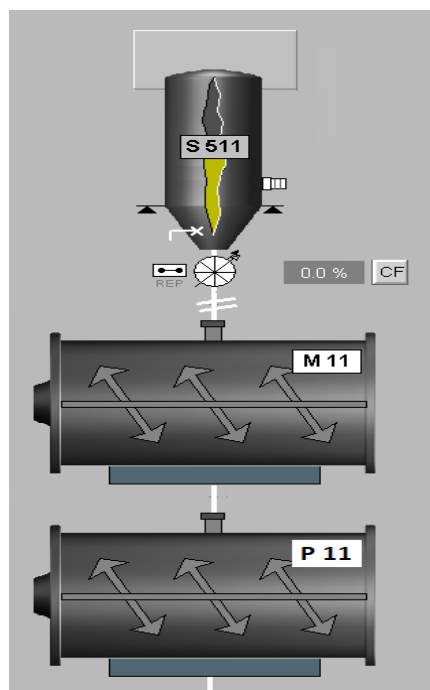


Fig.6.4: Sistema di misceazione

### 6.3 Test di portata con filtri magnetici EHEDG e griglia magnetica

Per ogni semilavorato sono state testate tre condizioni di portata. Tuttavia, a causa della diversità nelle portate massime raggiungibili per ogni semilavorato e per il diverso comportamento di ciascuno di essi nella fase di trasporto le portate utilizzate per i tre semilavorati sono state differenti.

Le portate studiate sono state:

- Fecola di patata → 10%, 25%, 35%
- Farina di mais → 10%, 15%, 25%
- Fiocchi di patata → 10%, 16%, 22%

Le portate riportate in % corrispondono a determinati valori di giri per minuto (RPM) della coclea calcolabili attraverso uno specifico fattore di conversione.

I valori espressi in RPM sono: 17,62 (10%), 26,42 (15%), 38,76 (22%), 44,04 (25%), 61,66 (35%)

I valori di portata in alcuni casi discostano da quelli valutati nei test di taratura a causa di cambi di lotto del semilavorato o di condizioni di umidità che hanno determinato variazioni delle condizioni di trasporto.

Grazie alle rette di taratura è stato individuato il tempo necessario allo scarico di 50Kg di per ogni valore di portata (vedi tabella 6.4).

Precedentemente alla realizzazione dei test di portata c'è stata una fase di pulizia del sistema di scarico FHP201 e del silo 254 nella quale tutto il materiale residuo dalle lavorazioni precedenti è stato rimosso. La realizzazione dei test veri e propri si basa sul processo di scarico e di trasporto del materiale dalla tramoggia FHP201 fino alla bilancia SC201.

Lo scarico del materiale inizia con l'aggancio di un saccone (big bag) da 1 tonnellata di materiale contaminata con 200g di polvere di Fe al di sopra della tramoggia FHP201, una volta azionato il sistema il materiale accumulato sul fondo conico dello stesso viene spinto nella tubazione da una coclea di dosaggio (M) ad una determinata portata e grazie al vuoto generato dalle due pompe PMP213 viene poi aspirato fino al silo S254.

Lo scarico del materiale in continuo viene garantito dall'utilizzo di un vibratore e di un martello azionabili manualmente.

Dalla fine della coclea al silo il materiale passa attraverso i filtri magnetici EHEDG (1) posti in un tratto orizzontale della tubazione o attraverso la griglia magnetica (2) che è stata invece posta verticalmente direttamente all'uscita della coclea di dosaggio (Fig.6.5).

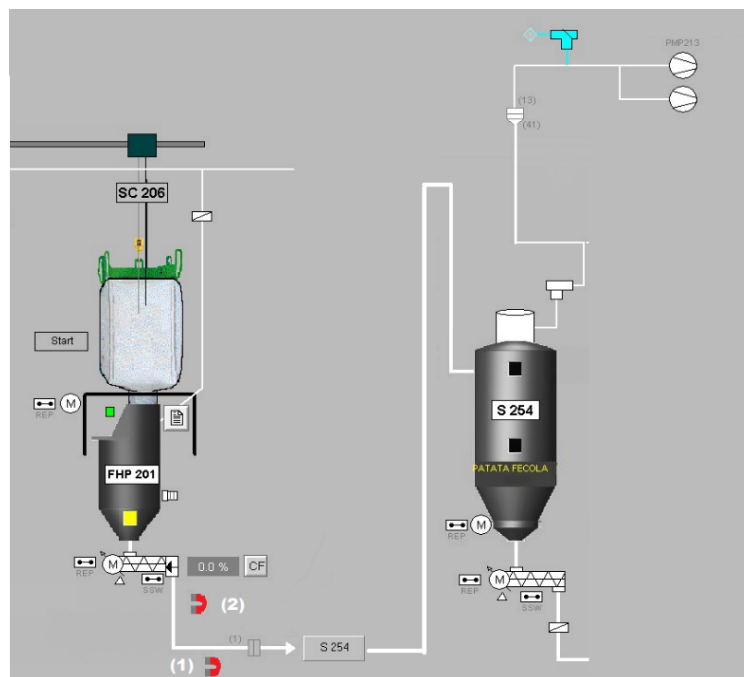


Fig.6.5: Sistema di scarico semilavorati

Una volta sopraggiunto al silo 254 il materiale è stato poi inviato alla bilancia SC201 per la verifica del peso scaricato (Fig. 6.6).

Durante la fase di scarico dal silo alla bilancia è stato eseguito un campionamento del semilavorato passato attraverso il magnete in modo tale da prelevarne un campione da inviare al laboratorio esterno come controverifica.

Dopo ogni scarico da 50Kg di materiale si è passati alla rimozione del materiale ferroso raccolto dal sistema magnetico in uso.

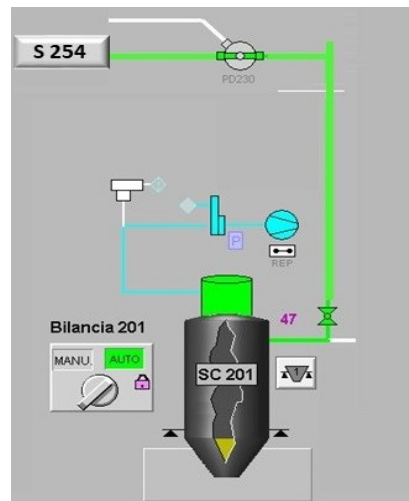


Fig. 6.6: Bilancia industriale posta a valle del sistema di scarico

Ogni test alle diverse percentuali di portata è stato ripetuto cinque volte in successione.

Dopo aver concluso ogni ripetizione si è proceduto alla raccolta del materiale trattenuto dai magneti. Il materiale di ogni prova è stato accuratamente raccolto in sacchetti di plastica numerati per ogni prova. Nel caso dei filtri magnetici con camicia la rimozione del catturato è avvenuta grazie a una prima estrazione del complesso magnetico dalla tubazione di trasporto e successivamente grazie ad una seconda estrazione delle barre magnetiche dalla camicia non magnetica, così facendo infatti il materiale adeso non essendo più soggetto all'attrazione magnetica cadeva per gravità.



Fig. 6.7: Sistemi magnetici EHEDG con camicia dopo il passaggio del materiale

Per i filtri magnetici senza camicia il principio è lo stesso ma svolto in un modo differente: in questo caso infatti successivamente all'estrazione del complesso è stato fatto sfilare il disco metallico dotato di guarnizioni verso la parte inferiore delle barre magnetiche dove era stata aggiunta la parte in bronzo non magnetica, raggiunta questa zona la polvere di Fe cadeva per gravità.



Fig. 6.8: Sistemi magnetici EHEDG senza camicia dopo il passaggio del materiale

In fine per il terzo sistema magnetico, ossia per la griglia la raccolta del catturato è avvenuta semplicemente estraendo il sistema di barre magnetiche dalla griglia non magnetica. In questo caso essendo particolarmente lungo il processo di rimozione dell'intero blocco magnetico la pulizia della griglia dalla polvere di Fe raccolta è stata favorita dall'utilizzo di un piccolo pennello.

Essendo questa posta perpendicolarmente alla verticalità della tubazione favoriva infatti un accumulo del materiale sopra le barre, non rimuovibile sfruttando la gravità (Fig.6.9).



Fig.6.9: Materiale accumulato al di sopra della griglia magnetica

## 6.4 Purificazione del materiale raccolto

---

Una volta raccolto il materiale adeso ai sistemi magnetici è stato necessario individuare un metodo sperimentale per poter separare la polvere metallica dai residui di semilavorati incorporati, permettendone la quantificazione.

Il metodo messo a punto consiste in una decantazione della polvere di Fe in un cilindro di vetro riempito d'acqua e agitato, dove grazie all'aiuto di magneti da banco viene indotta la precipitazione della polvere metallica rispetto al materiale farinoso che rimane in sospensione per poi essere rimosso.

Il metodo si basa su diversi passaggi, ossia:

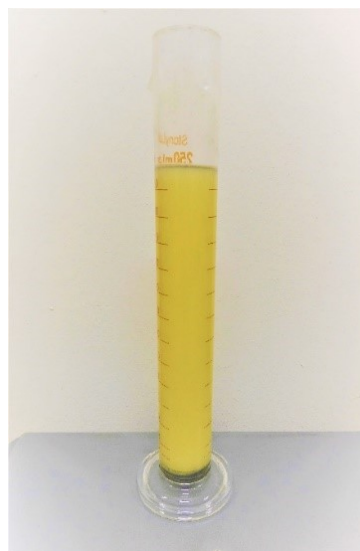
1. Pesare con una bilancia tecnica (Chyo JL - 200) una piastra in petri e nominarla con il codice del campione.
2. Svuotare accuratamente il materiale catturato dal sacchetto nella piastra, aiutandosi anche con l'aiuto di magneti in neodimio ( Fig:6.10).
3. Pesare la piastra con il catturato (Fig: 6.11 A) con la stessa bilancia.
4. Travasare il contenuto della piastra in un cilindro di vetro da 250ml, pulendo accuratamente la piastra.
5. Riempire il cilindro con acqua deionizzata, chiuderlo con parafilm e agitare il sistema, capovolgendolo (Fig: 6.11 B).
6. Posizionare un magnete sul fondo del cilindro e grazie all'aiuto di un secondo magnete cercare indurre la precipitazione delle particelle metalliche sul fondo.
7. Eliminare l'acqua ed il materiale farinoso in sospensione trattenendo le particelle metalliche sul fondo del cilindro con i magneti da banco.
8. Ripetere i punti 5,6,7 in numero sufficiente ad ottenere un sospenso perfettamente limpido (Fig: 6.11 C).
9. Svuotare la polvere metallica sulla precedente piastra petri, accertandosi di pulire accuratamente il cilindro (Fig 6.11 D).
10. Eliminare l'acqua surnatante presente sulla piastra con una pipetta.
11. Porre la piastra in stufa sottovuoto ad una temperatura di 60°C.
12. Dopo 3h, alla completa evaporazione dell'acqua, pesare la piastra con una bilancia di precisione e si verificare le differenze di peso rispetto al peso iniziale.



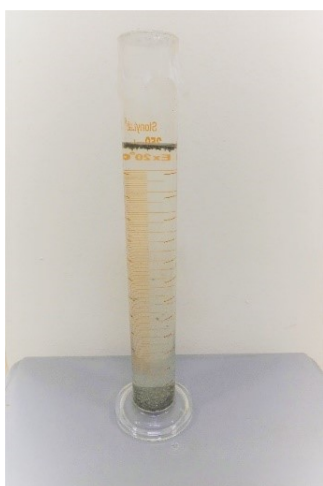
Fig.6.10: Magnete in neodimio



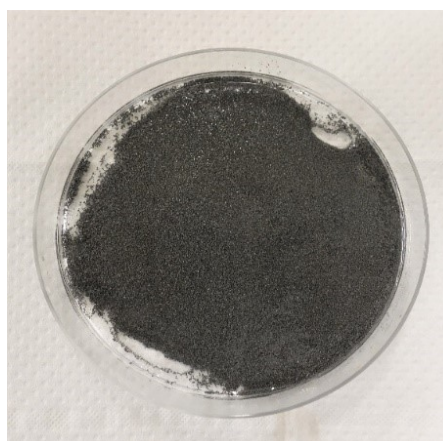
(A)



(B)



(C)



(D)

Fig 6.11: (A) Piastra con materiale catturato, (B) cilindro miscelato con materiale catturato, (C) cilindro con sospeso limpido dopo diversi passaggi, (D) piastra con materiale purificato da asciugare in stufa.

Per verificare che il metodo di purificazione della polvere metallica raccolta dai magneti realizzato sperimentalmente fosse accurato e ripetibile sono state eseguite cinque repliche utilizzando un quantitativo noto sia di semilavorato che di Fe. Per queste prove è stata utilizzata la fecola di patata pesando 8,5 g di Fe e 0,5g di Fecola, anche in base ai dati sperimentali del materiale raccolto dalle barre magnetiche. I risultati di questa prova sono riportanti in tabella 6.5

Replica	Piastra (g)	Fe(g)	Semilavorato (g)	Totale (g)	Peso dopo stufa (g)	Fe finale (g)
1	16,54	<u>8,51</u>	0,50	25,56	25,11	<u>8,57</u>
2	16,88	<u>8,50</u>	0,52	25,91	25,44	<u>8,56</u>
3	16,53	<u>8,52</u>	0,51	25,56	25,12	<u>8,59</u>
4	16,69	<u>8,51</u>	0,51	25,71	25,27	<u>8,57</u>
5	16,56	<u>8,51</u>	0,54	25,60	25,08	<u>8,52</u>

Tabella 6.5: Risultati prova di verifica del metodo di purificazione

Una volta pesate le piastre con il Fe raccolto a fine del procedimento sono stati valutati e confrontati i dati. I quantitativi di Fe ottenuti sono stati: 8,57; 8,56; 8,59; 8,57; 8,52. I risultati sono stati precisi e con un errore di un massimo di 0,07g.

## 6.5 Analisi del contenuto di Fe presso laboratorio esterno

---

La valutazione dell'efficienza di cattura da parte di barre magnetiche è un argomento non trattato dalla letteratura scientifica. Non esiste un metodo ufficiale per la quantificazione dei residui di ferro, sotto forma di polvere, contenuti in uno semilavorato.

Allo scopo di verificare in maniera indipendente l'affidabilità analitica del metodo di recupero del materiale ferroso e del calcolo dell'efficienza di cattura delle barre magnetiche, campioni di semilavorato prima dell'aggiunta di polvere di ferro, dopo l'aggiunta, e dopo il passaggio nei magneti oggetto di test sono stati prelevati ed inviati presso un laboratorio esterno per la valutazione del contenuto totale di ferro.

Il campionamento è stato realizzato con un minimo di 10 prelievi. L'analisi è stata effettuata secondo il metodo MP 1288 rev 20 2021. Questo metodo si basa sull'utilizzo di uno spettrometro di massa al plasma accoppiato induttivamente.

## 6.6 Analisi statistica

---

I dati raccolti con il metodo sperimentale sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA) tramite software IBM® SPSS® Statistics (Version 27) dopo aver verificato l'omoschedasticità delle classi a confronto. Le medie sono state considerate significativamente differenti per  $p < 0,05$ . Nei confronti di più di due medie è stato eseguito un test post-hoc Duncan. Test ANOVA multivariata sono stati eseguiti per verificare l'interazione dei fattori.

# RISULTATI E DISCUSSIONI

## 7.0 Valutazione dell'efficienza

---

Il parametro utilizzato al fine di valutare come incidessero sulla cattura della polvere di ferro le diverse configurazioni magnetiche, la velocità di passaggio del materiale e il tipo di semilavorato è stata l'efficienza. Il calcolo è stato effettuato a partire dai valori di polvere di ferro raccolti dal magnete e purificati dal residuo di semilavorato. L'efficienza è stata calcolata stimando la polvere di ferro teoricamente presente nel materiale che ha attraversato il sistema magnetico (concentrazione di ferro aggiunto moltiplicato per il quantitativo di semilavorato effettivamente passato). Questo valore è stato confrontato con il dato analitico del materiale raccolto in peso (vedi paragrafo 6.4), normalizzato per 50 Kg di materiale scaricato e riportato come un valore percentuale medio di cinque ripetizioni. In totale sono state valutate 150 prove analitiche. L'intero set di dati ottenuti nella presente tesi è riportato in appendice.

## 7.1 Valutazione dell'efficienza in funzione del numero di pompe

---

Nel primo confronto è stata valutata statisticamente la differenza di efficienza dei filtri magnetici (con e senza camicia) utilizzando una o due pompe (~ -60mbar e -10mbar rispettivamente) per la generazione del vuoto e del conseguente flusso d'aria. Queste pompe generano il vuoto all'interno del silo permettendo al semilavorato di scorrere per depressione. Poiché il grado di vuoto determina la velocità con cui il semilavorato scorre, questo può influire sulla capacità di cattura del sistema magnetico. Il confronto è stato fatto per tutti i semilavorati studiati. La portata della coclea di dosaggio in tutti i casi è stata impostata al 10%.

### *7.1.1 Farina di mais*

---

Nelle prove realizzate con il filtro magnetico senza camicia non sono state osservate differenze significative tra i risultati ottenuti utilizzando una o due pompe nel sistema di trasporto (Fig 7.1). Si è osservata invece una maggiore efficienza nei filtri magnetici con camicia utilizzando due pompe rispetto all'utilizzo della pompa singola.

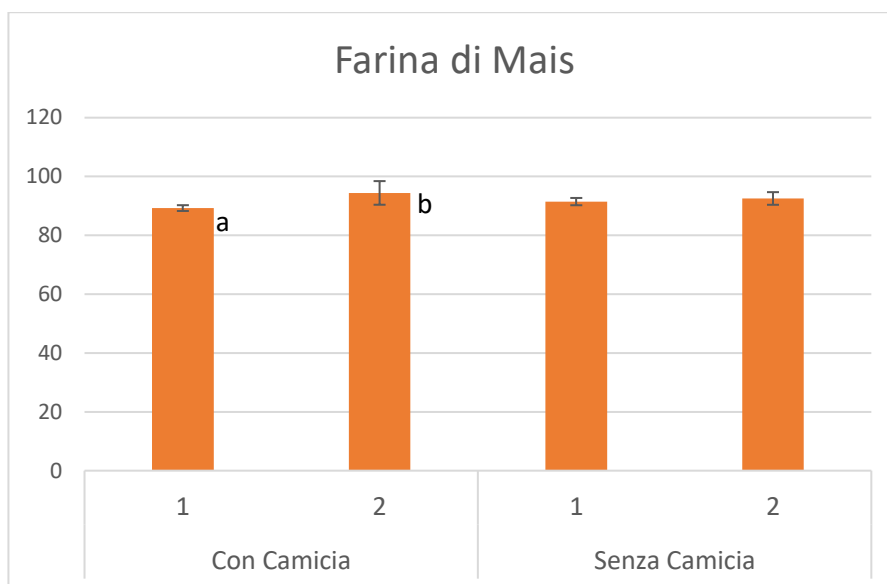


Fig 7.1: Efficienza filtri magneti con e senza camicia sulla farina di mais ad una portata del 10% con una o due pompe per la generazione del vuoto. I valori riportati sono medie di 5 repliche con barre di errore relative alla deviazione standard dei valori. Con le lettere minuscole (a) e (b) vengono indicate indicate differenze di efficienza significative ( $p < 0,05$ ).

Questa maggiore efficienza può essere giustificata da una maggiore dispersione del materiale con l'utilizzo delle due pompe, a discapito della pompa singola che determina un maggiore accumulo di materiale nella parte inferiore della tubazione. In queste condizioni non viene sfruttata l'intera superficie dei magneti. La presenza della camicia, che comporta un aumento del diametro esterno della barra magnetica, aumenta la superficie disponibile che può essere investita dal flusso di farina favorendo la cattura del materiale che scorre nella parte inferiore del magnete e quindi di conseguenza un valore di efficienza statisticamente più elevato (89,26% contro i 94,42%;  $p < 0,05$ ) quando sono attive 2 pompe.

### 7.1.2 Fecola di patata e fiocchi di patata

---

Per la fecola di patata l'uso di una o due pompe non risulta in differenze significative nell'efficienza di cattura, sia con il magnete con la camicia che senza camicia (Fig 7.2).

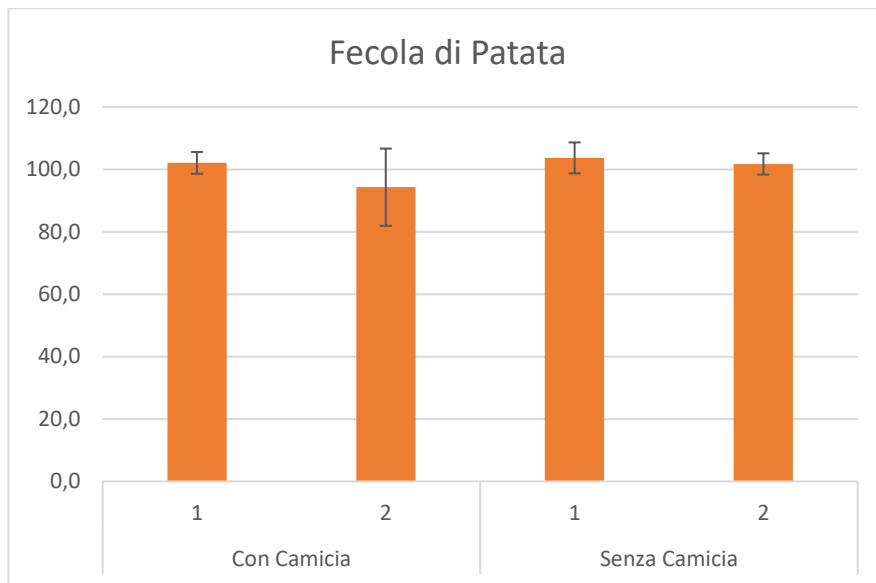


Fig 7.2: Efficienza filtri magneti con e senza camicia sulla fecola di patata ad una portata del 10% con una o due pompe per la generazione del vuoto. I valori riportati sono medie di 5 repliche con barre di errore relative alla deviazione standard dei valori. Con le lettere minuscole (a) e (b) vengono indicate differenze di efficienza significative ( $p < 0,05$ ).

Per i fiocchi di patata l'uso di una o due pompe non risulta in differenze significative nell'efficienza di cattura, sia con il magnete con la camicia che senza camicia (Fig. 7.3).

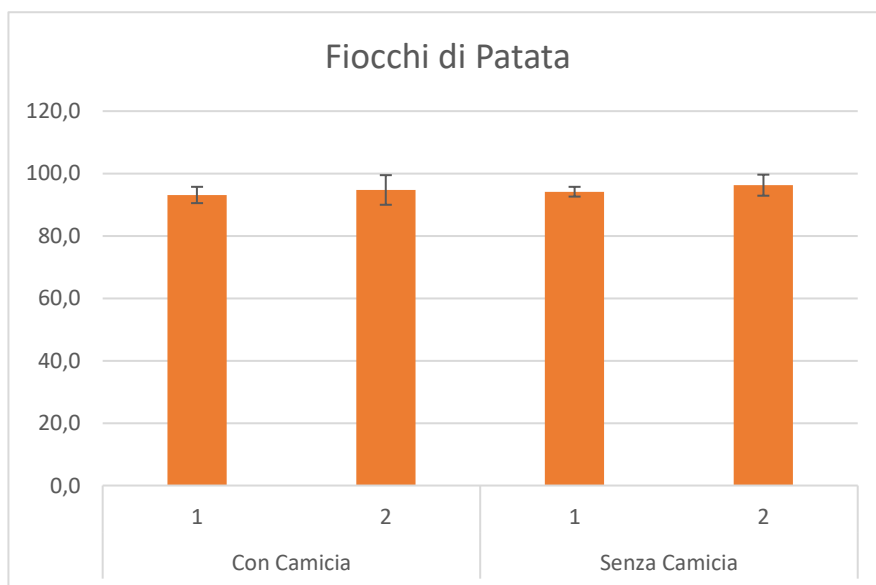


Fig 7.3: Efficienza filtri magneti con e senza camicia sui fiocchi di patata ad una portata del 10% con una o due pompe per la generazione del vuoto. I valori riportati sono medie di 5 repliche con barre di errore relative alla deviazione standard dei valori. Con le lettere minuscole (a) e (b) vengono indicate differenze di efficienza significative ( $p < 0,05$ ).

Il comportamento della fecola e dei fiocchi di patata in questa prova risulta simile e l'efficienza di cattura non dipende dalla presenza della camicia nel magnete né dal numero di pompe impiegato.

## 7.2 Efficienza del filtro magnetico con camicia e della griglia

---

Il secondo confronto che si è voluto fare è quello tra il filtro magnetico con camicia (Fig 6.7) ed il sistema magnetico a griglia (Fig 6.9). Per quanto riguarda la griglia è importante mettere in evidenza che il suo effetto di cattura è indipendente dal numero di pompe utilizzate nel trasporto, questo è dovuto al suo posizionamento all'uscita della coclea di dosaggio dove il materiale non risente ancora dell'effetto vuoto.

Sono state messe a confronto le efficienze dei sistemi a due portate cadauno, differenti per ognuno dei semilavorati.

### 7.2.1 Farina di mais

---

Per la farina di mais sono state messe a confronto portate della coclea pari al 10% e al 15% che corrispondono a 1218 Kg/h e 1791 Kg/h per la griglia e a 1149 Kg/h e 1757 Kg/h per il magnete rispettivamente. I valori di efficienza del filtro magnetico sono risultati significativamente maggiori rispetto a quelli della griglia, a portate sia del 10% che del 15% (Fig 7.4). Questa differenza potrebbe essere dovuta all'importante fattore di accumulo di materiale al di sopra delle barre magnetiche (Fig 6.9) costituenti la griglia durante la fase di scarico, ricevendo questa il materiale per caduta verticale e non disperso e volatilizzato come nel caso dei filtri magnetici.

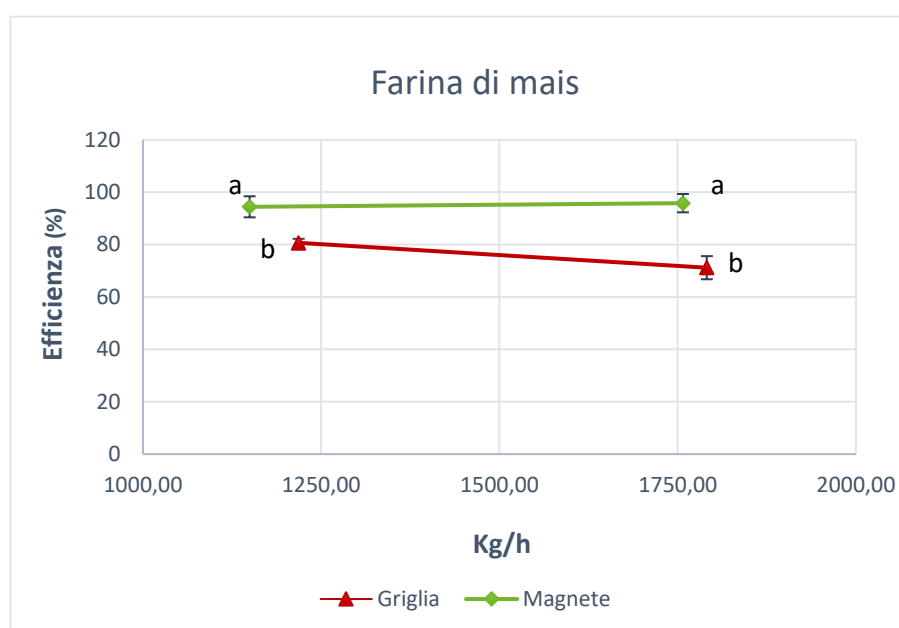


Fig 7.4: Efficienza del filtro magnetico con camicia e della griglia magnetica sulla farina di mais. I valori riportati sono medie di 5 repliche con barre di errore relative alla deviazione standard dei valori. Con le lettere minuscole (a) e (b) vengono indicate differenze di efficienza significative ( $p < 0,05$ ).

### 7.2.2 Fecola di patata

---

Per la fecola di patata sono state messe a confronto portate del 10% e del 25% equivalenti a 1020 Kg/h e 2540 Kg/h per la griglia e 1030 Kg/h e 2606 Kg/h per il magnete rispettivamente (Fig 7.5). Anche in questo caso il filtro magnetico presenta un'efficienza molto maggiore di cattura rispetto alla griglia. Allo

scarico, in corrispondenza della griglia, la fecola tende a formare dei grumi non essendo dispersa dalla presenza del vuoto. Questa potrebbe essere la causa della diversa performance dei due sistemi.

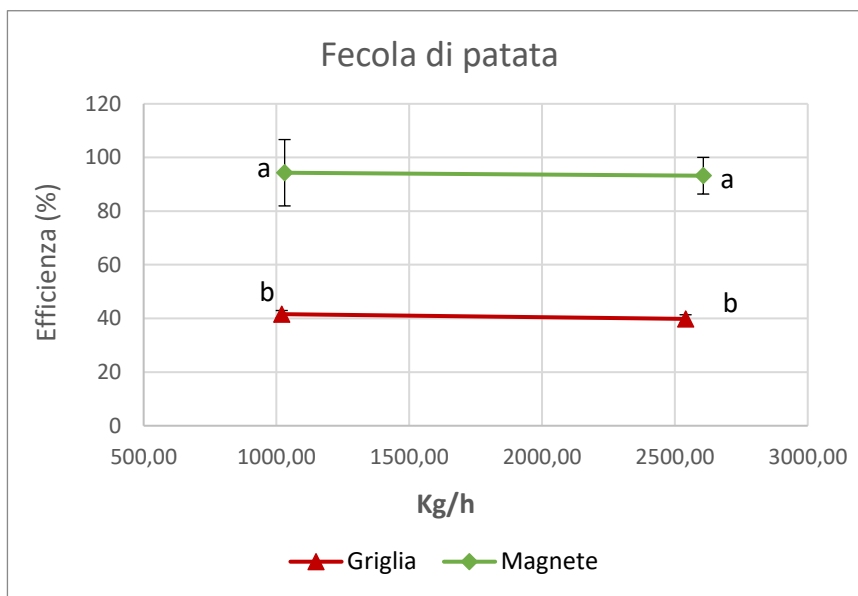


Fig 7.5: Efficienza del filtro magnetico con camicia e della griglia magnetica sulla fecola di patata. I valori riportati sono medie di 5 repliche con barre di errore relative alla deviazione standard dei valori. Con le lettere minuscole (a) e (b) vengono indicate differenze di efficienza significative ( $p < 0,05$ ).

### 7.2.2 Fiocchi di patata

Per i fiocchi di patata sono state confrontate le efficienze alle portate della coclea del 10% e del 22% a 1607 Kg/h e 2802 Kg/h per la griglia e a 1654 Kg/h e 2799 Kg/h per il magnete rispettivamente (Fig 7.6). Nel caso dei fiocchi di patata l'efficienza del filtro magnetico e della griglia magnetica sono risultati non distinguibili alla portata del 10% e significativamente diversi alla portata del 22% (89,7% contro 79,6% per il filtro magnetico e per la griglia, rispettivamente). Questo diverso comportamento può essere dovuto al fatto che i fiocchi hanno un'elevata scorrevolezza e a portate di coclea basse (10%) entrambi i sistemi riescono a catturare la polvere di ferro dispersa. A portate maggiori, 22%, l'accumulo di materiale rende meno efficace la cattura in entrambi i sistemi mettendo in evidenza la peggiore capacità di cattura della griglia.

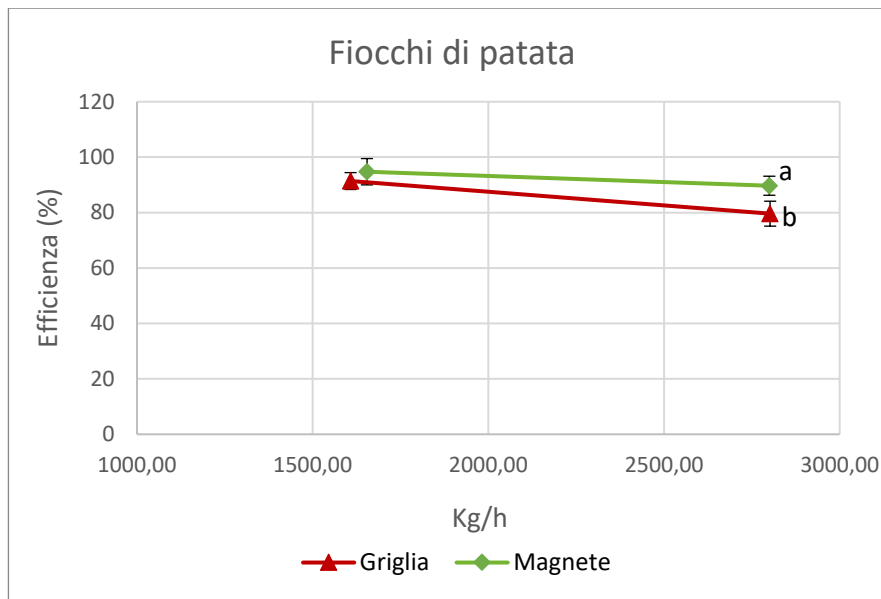


Fig 7.6: Efficienza del filtro magnetico con camicia e della griglia magnetica sulla fiocchi di patata. I valori riportati sono medie di 5 repliche con barre di errore relative alla deviazione standard dei valori. Con le lettere minuscole (a) e (b) vengono indicate differenze di efficienza significative ( $p < 0,05$ ).

In generale, quindi, la griglia magnetica appare come un sistema a minore efficienza quando confrontato con il filtro magnetico a camicia. Questo può essere legato alla struttura della griglia, con le barre magnetiche disposte parallelamente in un solo piano e alla posizione della stessa. Il materiale attraversando il sistema magnetico per caduta senza essere disperso nell'aria di trasporto tende ad accumularsi al di sopra delle barre a discapito dell'efficienza del sistema. La superficie di contatto tra il ferro ed i magneti è ridotta: solo una parte dei magneti viene investita dal materiale. L'effetto è tanto più evidente quanto minore è la scorrevolezza del materiale come visibile per la fecola e la farina di mais.

### 7.3 Efficienza dei filtri magnetici al variare della portata con e senza camicia

La portata del sistema di scarico potrebbe avere una influenza sull'efficienza del filtro magnetico. Inoltre il filtro magnetico può essere dotato di camicia (Fig. 5.1) o esserne privo (Fig. 5.2). Infatti dalle misurazioni con il gaussometro è stata messa in evidenza una elevata diversità tra le intensità dei campi magnetici dei due sistemi. In particolare il sistema a camicia possiede una intensità magnetica media di circa 7000 gauss, quello senza camicia di circa 110000 gaus.

Le portate scelte per i tre semilavorati dipendono dalle limite massimo raggiungibile senza che il sistema di scarico si intasi. Date le differenze nelle caratteristiche fisiche dei tre prodotti le portate testate sono state diverse.

### 7.3.1 Farina di mais

---

Per la farina di mais sono state confrontate portate del 10%, 15% e 25%, equivalenti a 1150 Kg/h, 1757 Kg/h e 2886 Kg/h per il filtro a camicia e 1149 Kg/h, 1732 Kg/h, 2895 Kg/h per il filtro senza camicia rispettivamente (Fig. 7.7). Alle portate minori non sono state messe in evidenza differenze significative in termini efficienza di cattura tra i due filtri magnetici utilizzati.

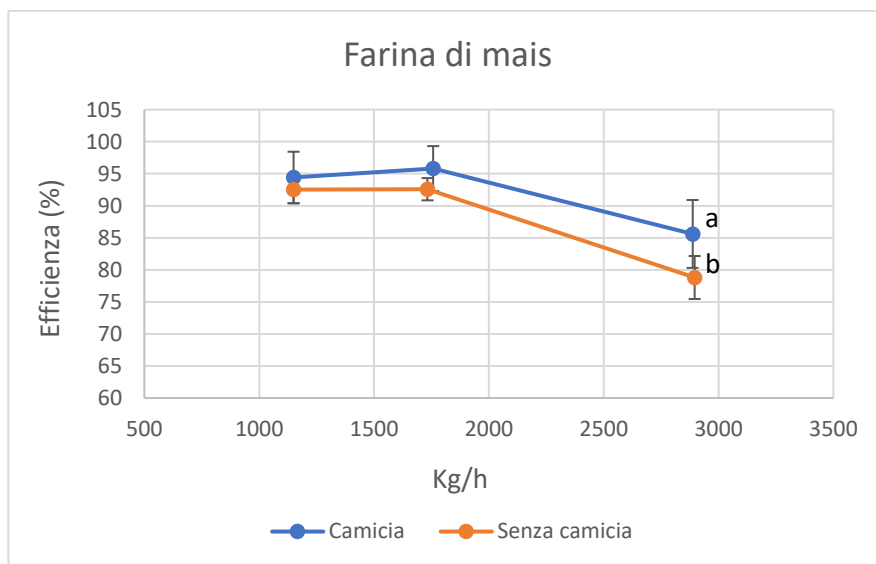


Fig. 7.7: Efficienza del filtro magnetico con camicia e senza camicia sulla farina di mais. I valori riportati sono medie di 5 repliche con barre di errore relative alla deviazione standard dei valori. Con le lettere minuscole (a) e (b) vengono indicate differenze di efficienza significative ( $p < 0,05$ ).

Per portate del 25% i valori di efficienza del filtro magnetico con camicia sono risultati significativamente maggiori rispetto a quelli del filtro magnetico senza camicia (85,60% e 78,80%, rispettivamente del sistema con camicia e di quello senza camicia). Se è vero che il filtro magnetico senza camicia possiede un'intensità magnetica superiore a quello con camicia è anche vero che la presenza della camicia porta ad un maggiore ingombro del sistema, con un conseguente restringimento dello spazio attraverso il quale passerà il semilavorato ed una maggiore superficie di deposito del materiale. Considerando la tendenza della farina di mais di scorrere nella parte bassa della tubazione

si può affermare che per tale semilavorato la superficie di cattura del sistema a camicia influisce maggiormente sulla cattura della polvere di ferro rispetto alla differenza di intensità magnetica tra i due. In generale l'efficienza cala all'aumentare della portata, dopo la portata del 15%. Questo fenomeno, comune a tutti i semilavorati analizzati può essere ricondotto al fatto che la quantità di materiale che esplora contemporaneamente il filtro magnetico è maggiore a portate elevate. Questo ha come conseguenza che il materiale è meno disperso e le particelle ferrose possono essere ostacolate nella fase di cattura del magnete. Inoltre, aumentando la portata che investe le barre magnetiche aumenta anche la probabilità che le particelle ferrose catturate possano essere trascinate via dal semilavorato stesso.

### 7.3.2 Fecola di patata

Per la fecola di patata sono state confrontate portate del 10%, 25% e 35% equivalenti a 1030 Kg/h, 2606 Kg/h e 3491 Kg/h per il filtro a camicia e 1077 Kg/h, 2636 Kg/h, 3649 Kg/h per il filtro senza camicia rispettivamente (Fig. 7.8).

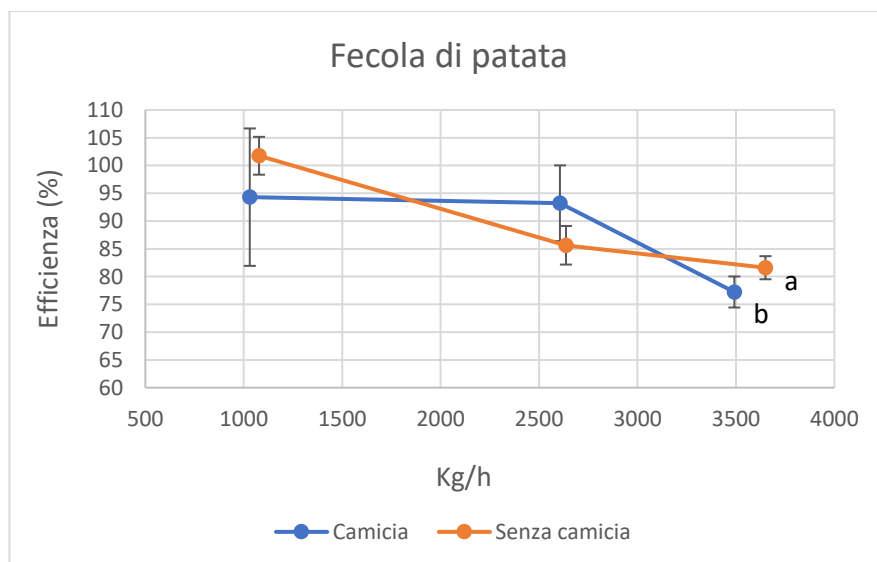


Fig. 7.8: Efficienza del filtro magnetico con camicia e senza camicia sulla fecola. I valori riportati sono medie di 5 repliche con barre di errore relative alla deviazione standard dei valori. Con le lettere minuscole (a) e (b) vengono indicate differenze di efficienza significative ( $p < 0,05$ ).

Nel caso della fecola di patata le portate al 10% ed al 25% non risultano significativamente diverse in caso di presenza o assenza della camicia. Alla portata massima (35%) il sistema senza camicia risulta significativamente più efficiente. Anche in questo caso il sistema perde di efficienza all'aumentare della portata, per i medesimi motivi ipotizzati per la farina di mais. La maggiore efficienza del sistema senza camicia alle portate più elevate potrebbe essere ricondotto alla maggiore intensità del campo magnetico che nelle caratteristiche fisiche della fecola permette una maggiore cattura delle particelle ferrose.

### 7.3.3 Fiocchi di patata

I fiocchi di patata sono stati valutati alle portate di 10%, 16% e 22% equivalenti a 1654 Kg/h, 2298 Kg/h e 2799 Kg/h per il filtro a camicia e 1652 Kg/h, 2266 Kg/h, 2746 Kg/h per il filtro senza camicia rispettivamente (Fig. 7.9).. I fiocchi di patata mostrano un andamento simile a quello della farina di mais.

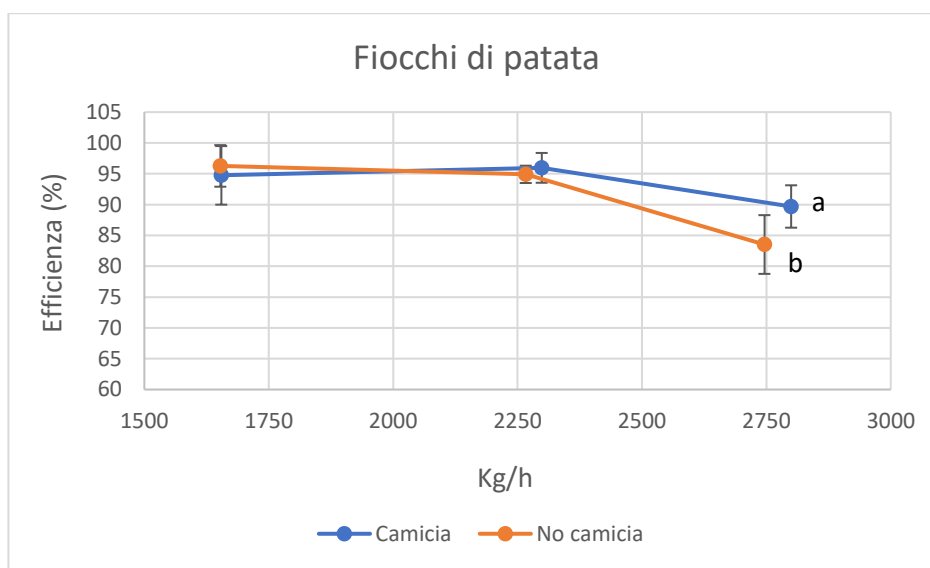


Fig. 7.9: Efficienza del filtro magnetico con camicia e senza camicia sui fiocchi di patata. I valori riportati sono medie di 5 repliche con barre di errore relative alla deviazione standard dei valori. Con le lettere minuscole (a) e (b) vengono indicate differenze di efficienza significative ( $p < 0,05$ ).

I fiocchi di patata mostrano efficienze di rimozione delle particelle ferrose elevate fino alla portata del 16% e efficienze più basse alla portata del 22%, con un dato significativamente più elevato nel filtro magnetico dotato di camicia. Anche i fiocchi di patata, come la farina di mais, hanno la tendenza a scorrere sul fondo del sistema pneumatico, a differenza della fecola di patata che risulta più dispersa.

### 7.3.4 Confronto efficienza del sistema nei tre semilavorati

Allo scopo di verificare il comportamento dei tre semilavorati nel sistema di filtro magnetico con camicia le efficienze registrate alle diverse portate sono riassunte in figura 7.10.

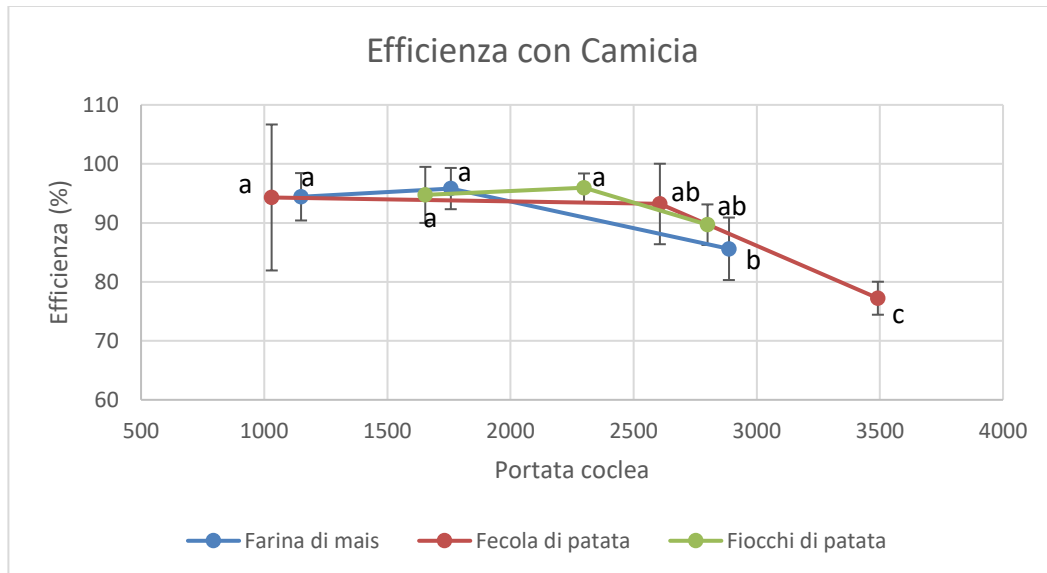


Fig. 7.10: Efficienza del filtro magnetico con camicia. I valori riportati sono medie di 5 repliche con barre di errore relative alla deviazione standard dei valori. Con le lettere minuscole vengono indicate differenze significative tra i valori di efficienza ( $p < 0,05$ ).

I dati di efficienza con camicia mostrano tre situazioni diverse per i tre semilavorati. I flocchi di patata mostrano un valore di efficienza non significativamente diverso a tutte le portate considerate. I flocchi sono il materiale con maggiore scorrevolezza che più si disperde nel filtro magnetico, mantenendo una efficienza elevata anche ad alte portate. Sia la farina di mais che i flocchi di patata mostrano un calo di efficienza a portate elevate. Nella situazione con camicia la fecola perde maggiormente di efficienza rispetto alla farina di mais, risentendo particolarmente del restringimento della sezione dovuto alla presenza di camicia.

Dal confronto dei tre semilavorati nel sistema senza camicia (Fig. 7.11) si nota che la fecola di patate ha un'efficienza significativamente più alta rispetto agli altri due semilavorati alla portata del 10%, confermando il diverso comportamento dei tre prodotti. In assenza di camicia tutti i prodotti mostrano un calo di efficienza di cattura alle portate maggiori, con la fecola che perde in efficienza già alle portate intermedie ma mantiene la stessa efficienza anche alle portate maggiori.

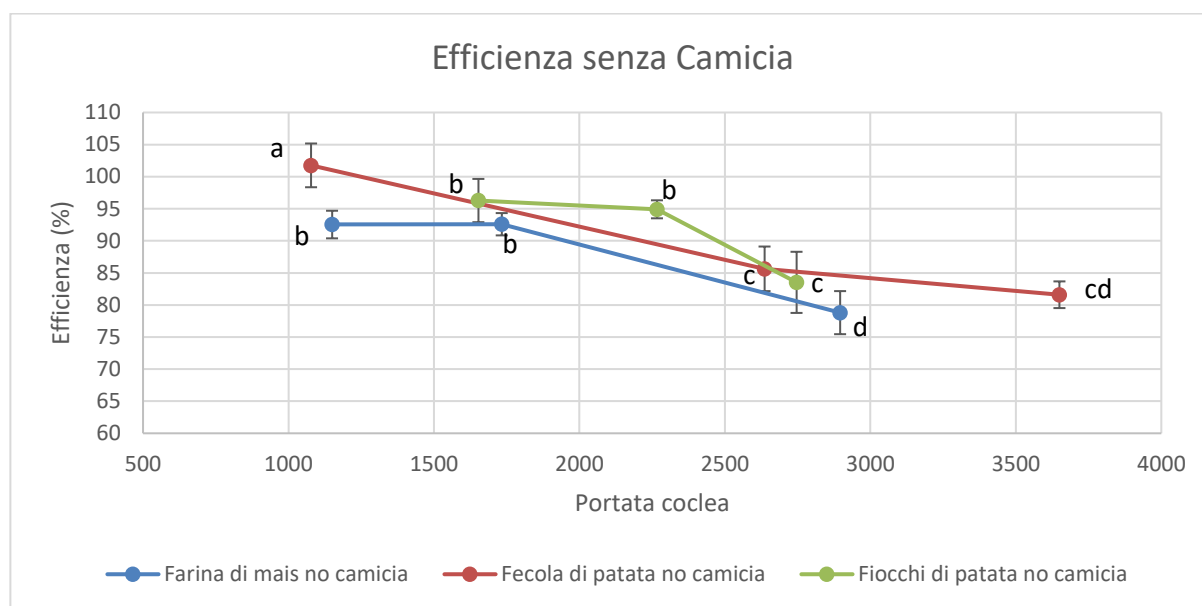


Fig. 7.11: Efficienza del filtro magnetico senza camicia. I valori riportati sono medie di 5 repliche con barre di errore relative alla deviazione standard dei valori. Con le lettere minuscole vengono indicate differenze significative tra i valori di efficienza ( $p < 0,05$ ).

In generale si evince che all'aumentare della portata diminuisce l'efficienza dei magneti, in funzione della distribuzione del materiale all'interno del tubo. Nella fecola si ha un'efficienza maggiore, in quanto si ha una maggiore distribuzione che sfrutta l'intera superficie e quindi capacità di cattura delle candele: qui predomina l'intensità del campo magnetico. Fiocchi di patata e farina di mais, caratterizzati da una minore distribuzione scorrono sulla parte inferiore della tubazione, non fruttando l'intera superficie delle barre, risentendo dell'influenza del restringimento della sezione per l'utilizzo delle camicie, che genera un rallentamento, e quindi una maggior superficie di contatto.

#### 7.3.4 Confronto dati di efficienza misurati presso il laboratorio esterno

Campioni di semilavorati dopo il passaggio nel sistema magnetico di cattura sono stati forniti ad un laboratorio analitico allo scopo di avere una validazione esterna del metodo sviluppato nella presente tesi per verificare l'efficienza dei sistemi magnetici. Un totale di 30 campioni sono stati affidati al laboratorio esterno. Sui campioni l'analisi è stata effettuata secondo il metodo MP 1288 rev 20 2021. Questo metodo si basa sull'utilizzo di uno spettrometro di massa al plasma accoppiato induttivamente.

I valori ottenuti dal laboratorio analitico sono stati messi a confronto con i dati ottenuti con il nostro metodo analitico (Fig. 7.12).

I dati mostrano un coefficiente angolare di 0,7856 e un  $R^2$  pari a 0,6546. Questo indica che pur essendoci una correlazione tra le due serie di valori, non c'è una sovrapposizione tra le due serie di risultati. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che il metodo adottato dal laboratorio esterno è calibrato per misurare il ferro molecolare diluito nel campione, mentre il nostro caso studio riguarda della polvere metallica di ferro. Questo conferma l'assenza di un metodo analitico ufficiale per valutare e dimostrare l'efficienza di cattura dei sistemi magnetici nei confronti delle polveri e dei frammenti metallici.

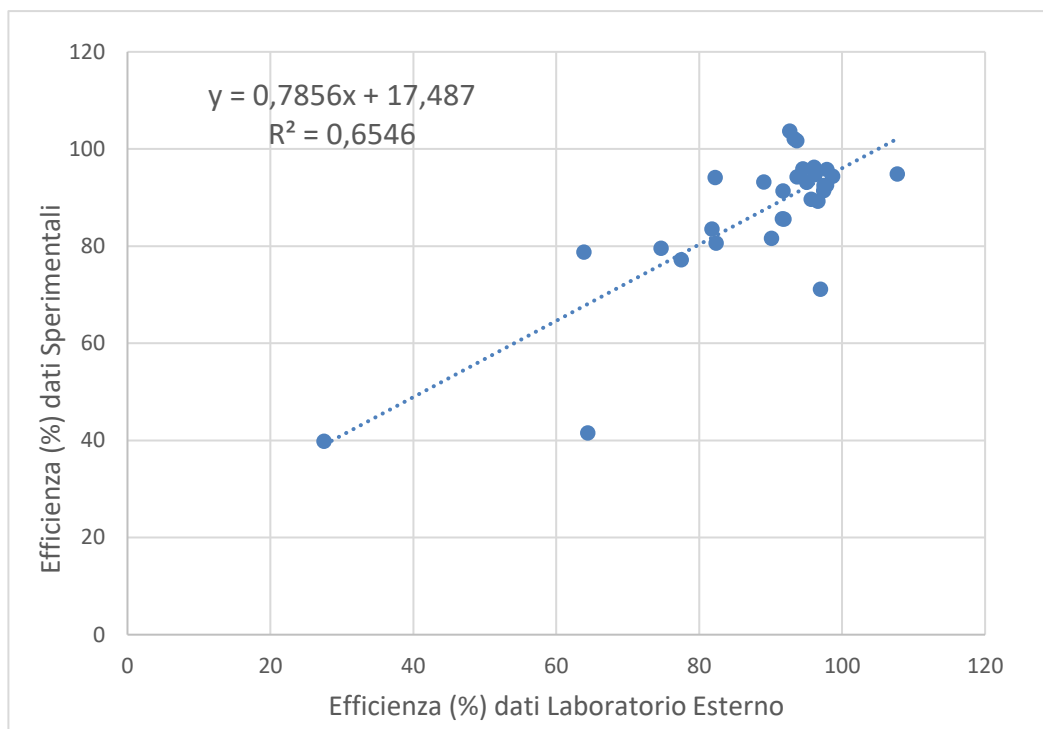


Fig. 7.12: Correlazione tra i dati ottenuti con il metodo sviluppato nella presenti tesi e quelli ottenuti in un laboratorio analitico esterno. I valori riportati sono medie di 5 repliche per i dati sperimentali e 3 repliche per i dati del laboratorio esterno. In figura è riportata la funzione di correlazione lineare ed il valore di  $R^2$ .

## CONCLUSIONI

In seguito all'elaborazione dei dati ottenuti nei 150 test effettuati e alla loro valutazione statistica è possibile trarre una serie di conclusioni sui parametri operativi oggetto della tesi.

In primo luogo, è possibile affermare, sulla base dell'evidenza dei dati, che il numero di pompe utilizzate nel trasporto pneumatico risulta essere ininfluenza sull'efficienza di cattura rispetto al valore di portata testato (10%), ad eccezione che sulla farina di mais dove nel filtro magnetico a camicia si è osservata un'efficienza significativamente maggiore utilizzando due pompe rispetto alla pompa singola. È stato poi messo in evidenza che il sistema magnetico a griglia per tutti e tre i semilavorati utilizzati e ad entrambe le portate testate è di gran lunga il sistema meno efficiente in termini di cattura del contaminante metallico.

Nel confronto tra i filtri magnetici con camicia e senza camicia per tutti i semilavorati è stata infine osservata una differenza significativa tra i due sistemi in termini di efficienza solo per portate tendenti ai valori di massimo.

Per i test di portata è stato osservato che generalmente l'efficienza di tutti i sistemi magnetici è maggiore a valori di portata della coclea di dosaggio ridotti e che tanto più si cerca di spingersi verso i valori di portata vicini al massimo consentito, tanto più l'efficienza cala.

In questo caso si mette in evidenza la diversità del comportamento della fecola di patata rispetto a farina di mais e fiocchi di patata.

Con il filtro magnetico senza camicia si è osservato per la fecola di patata un calo di efficienza repentino già a valori intermedi di portata, con una successiva stabilizzazione fino ai valori di massimo (35%). Focchi di patata e farina di mais tendono invece a mantenere l'efficienza elevata fino a valori intermedi di portata per poi andare incontro ad un calo significativo.

Con il filtro magnetico a camicia le efficienze sono risultate elevate indipendentemente dal semilavorato utilizzato fino ai valori di portata intermedi, per poi diminuire significativamente ai valori di massimo. Solo nei fiocchi di patata l'efficienza non ha subito cali significativi.

Studi di questo tipo permettono una maggiore consapevolezza del rischio nelle diverse condizioni operative.

# BIBLIOGRAFIA

## SITI

- http1: [https://it.wikipedia.org/wiki/Pagina\\_principale](https://it.wikipedia.org/wiki/Pagina_principale)
- http2: <https://www.supermagnete.it/>
- http3: <https://www.goudsmitmagnets.com/>
- http 4: <https://it.edelstahl-haerten.de/materiale/acciaio-austenitico/>
- http 5: <https://www.humanitas.it/>
- https6: <https://mafin.it/it/>

## LIBRI

- Edwards, M. (Ed.). (2004). *Detecting foreign bodies in food*. Elsevier.

## ARTICOLI

- Cárcel-Carrasco, J., Pascual-Guillamón, M., & Salas-Vicente, F. (2021). Composition of some metallic fragments found in food that are undetectable by magnetic or eddy currents equipment: A case study. *LWT*, 112358.
- Chen, H., Liou, B. K., Dai, F. J., Chuang, P. T., & Chen, C. S. (2020). Study on the risks of metal detection in food solid seasoning powder and liquid sauce to meet the core concepts of ISO 22000: 2018 based on the Taiwanese experience. *Food Control*, 111, 107071.
- Chopovda, V., Gulley, A., & Sweatman, W. L. (2017). Using magnets for particle extraction from powder flow. *ANZIAM Journal*, 59, C172-C189.

- Codex Alimentarius. 2003. Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System and Guidelines for its Application. Food Hygiene Basic Text. FAO/WHO, Rome.
- European commission (2015). *RASF for safer food - the rapid alert system for food and feed 2014 annual report* Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Idayanti, N., Sudrajat, N., Kristiantoro, K., Mulyadi, D., Kurniawan, I., Nurdin, M., & Nugraha, J. (2020). A PROTOTYPE AND ITS TESTING METHOD DEVELOPMENT FOR FIVE TRAPS METAL CATCHERS TO REMOVE METAL IMPURITIES IN FOOD PRODUCTS. *Instrumentasi*, 44(2), 155-167.
- International Food Standard (2021). IFS Guideline for an Effective Foreign Body Management.
- Nakai, Y., Mishima, F., Akiyama, Y., & Nishijima, S. (2010). Development of magnetic separation system for powder separation. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 20(3), 941-944.
- Ohnishi, T., Okamoto, T., & Watanuki, K. (2019, March). Effect of Magnet Shapes on Metal Contamination Removal. In *CATA* (pp. 428-437).
- Regolamento (CE) N. 178/2002 del Parlamento Europeo e del consiglio del 28 gennaio 2002 che stabilisce i principi generali e i requisiti della legislazione alimentare, stabilendo l'autorità europea per la sicurezza alimentare e procedure di fissazione in materia di sicurezza alimentare.
- Trafialek, J., Kaczmarek, S., & Kolanowski, W. (2016). The risk analysis of metallic foreign bodies in food products. *Journal of Food Quality*, 39(4), 398-407.
- U.S. Food and Drug Administration. 1999. Foods - Adulteration involving hard or sharp foreign objects. In Compliance Policy Guides, Sec. 555.425. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition, College Park, MD.
- World Health Organization-FAO. (2009). In W. H. Organization-FAO (Ed.), *Food and agriculture organization of the United Nations Codex Alimentarius: Food hygiene, basic texts*.

# APPENDICE

Semilavorato	Magnete/Griglia	Camicia	Pompe	Portata	Replica	Kg/h	Kg scaricati (Kg)	Peso Piastra (g)	Piastra con catturato (g)	Piastra con ferro raccolto (g)	Materiale Raccolto (g)	Materiale rimosso (Semilavorato) (g)	Fe Raccolto (g)	Fe su 50Kg	Efficienza (%)	Eff. analisi esterna
Fecola di patata	Magnete	Si	2	10%	4	1018	47,241	17,89	26,5183	25,6238	8,6	0,9	7,7	8,2	81,85	93,72
Fecola di patata	Magnete	Si	2	10%	2	1022	47,388	16,8609	28,4945	27,1813	11,6	1,3	10,3	10,9	108,89	
Fecola di patata	Magnete	Si	2	10%	1	1031	47,822	17,154	28,2936	27,1765	11,1	1,1	10,0	10,5	104,79	
Fecola di patata	Magnete	Si	2	10%	3	1025	47,551	16,9155	26,7675	25,7821	9,9	1,0	8,9	9,3	93,23	
Fecola di patata	Magnete	Si	2	10%	5	1057	49,046	16,5357	25,8209	24,6527	9,3	1,2	8,1	8,3	82,75	
Fecola di patata	Magnete	Si	2	25%	1	2621	47,321	16,5465	24,9527	24,5743	8,4	0,4	8,0	8,5	84,82	89,03
Fecola di patata	Magnete	Si	2	25%	2	2511	45,338	16,9089	25,656	25,0865	8,7	0,6	8,2	9,0	90,18	
Fecola di patata	Magnete	Si	2	25%	3	2784	50,273	16,9516	26,9288	26,0943	10,0	0,8	9,1	9,1	90,93	
Fecola di patata	Magnete	Si	2	25%	4	2540	45,868	16,504	26,0616	25,4941	9,6	0,6	9,0	9,8	98,00	
Fecola di patata	Magnete	Si	2	25%	5	2576	46,51	16,9138	27,1341	26,4091	10,2	0,7	9,5	10,2	102,08	
Fecola di patata	Magnete	Si	2	35%	3	3589	46,85	16,48	23,5573	23,4227	7,1	0,1	6,9	7,4	74,09	77,49
Fecola di patata	Magnete	Si	2	35%	4	3447	45,001	16,845	24,1059	23,9974	7,3	0,1	7,2	7,9	79,47	
Fecola di patata	Magnete	Si	2	35%	1	3403	44,428	17,1428	24,0548	23,8734	6,9	0,2	6,7	7,6	75,75	
Fecola di patata	Magnete	Si	2	35%	2	3495	45,624	16,5472	23,7542	23,4835	7,2	0,3	6,9	7,6	76,02	
Fecola di patata	Magnete	Si	2	35%	5	3527	46,042	16,923	24,5385	24,3638	7,6	0,2	7,4	8,1	80,80	
Fecola di patata	Magnete	Si	1	10%	1	1059	49,987	16,93	29,701	27,3629	12,8	2,3	10,4	10,4	104,36	93,31
Fecola di patata	Magnete	Si	1	10%	2	1027	48,513	16,8324	29,2831	27,0646	12,5	2,2	10,2	10,5	105,46	
Fecola di patata	Magnete	Si	1	10%	3	1037	48,946	16,8896	29,1885	26,9337	12,3	2,3	10,0	10,3	102,60	
Fecola di patata	Magnete	Si	1	10%	4	1036	48,931	16,8247	28,6755	26,7686	11,9	1,9	9,9	10,2	101,61	
Fecola di patata	Magnete	Si	1	10%	5	1051	49,615	16,6785	28,2909	26,2487	11,6	2,0	9,6	9,6	96,44	
Fecola di patata	Magnete	No	2	10%	1	1117	52,748	16,7155	27,955	26,923	11,2	1,0	10,2	9,7	96,76	93,66
Fecola di patata	Magnete	No	2	10%	2	1028	48,552	16,5148	27,3195	26,3232	10,8	1,0	9,8	10,1	101,01	
Fecola di patata	Magnete	No	2	10%	3	1055	49,832	16,6317	28,516	27,0096	11,9	1,5	10,4	10,4	104,13	
Fecola di patata	Magnete	No	2	10%	4	1097	51,781	16,4925	28,8485	27,4321	12,4	1,4	10,9	10,6	105,63	
Fecola di patata	Magnete	No	2	10%	6	1091	51,505	16,5513	28,1098	26,9812	11,6	1,1	10,4	10,1	101,25	
Fecola di patata	Magnete	No	2	25%	1	2634	47,55	16,4936	25,0364	24,5202	8,5	0,5	8,0	8,4	84,40	91,67
Fecola di patata	Magnete	No	2	25%	2	2622	48,803	16,6585	25,0727	24,7545	8,4	0,3	8,1	8,3	82,95	
Fecola di patata	Magnete	No	2	25%	3	2641	49,158	16,566	25,4383	24,7535	8,9	0,7	8,2	8,3	83,28	
Fecola di patata	Magnete	No	2	25%	4	2647	49,258	16,7284	25,5694	25,2118	8,8	0,4	8,5	8,6	86,11	
Fecola di patata	Magnete	No	2	25%	5	2637	49,081	16,5597	26,2321	25,5356	9,7	0,7	9,0	9,1	91,44	
Fecola di patata	Magnete	No	2	35%	1	3617	45,212	16,6874	24,5261	24,3623	7,8	0,2	7,7	8,5	84,88	90,14
Fecola di patata	Magnete	No	2	35%	2	3682	48,07	16,6981	24,861	24,6022	8,2	0,3	7,9	8,2	82,21	
Fecola di patata	Magnete	No	2	35%	3	3677	48,01	16,5141	24,4943	24,3052	8,0	0,2	7,8	8,1	81,14	
Fecola di patata	Magnete	No	2	35%	4	3669	47,899	16,7114	24,5429	24,3543	7,8	0,2	7,6	8,0	79,78	
Fecola di patata	Magnete	No	2	35%	5	3604	47,055	16,5252	24,3399	24,0515	7,8	0,3	7,5	8,0	79,97	
Fecola di patata	Magnete	No	1	10%	1	1024	48,374	16,9037	27,9945	26,1219	11,1	1,9	9,2	9,5	95,28	92,66
Fecola di patata	Magnete	No	1	10%	2	1036	48,932	16,8161	29,3058	26,9319	12,5	2,4	10,1	10,3	103,37	
Fecola di patata	Magnete	No	1	10%	3	1035	48,861	16,8827	30,3892	27,2607	13,5	3,1	10,4	10,6	106,20	
Fecola di patata	Magnete	No	1	10%	4	1039	49,06	16,8234	30,0391	27,1954	13,2	2,8	10,4	10,6	105,71	
Fecola di patata	Magnete	No	1	10%	5	1021	48,199	16,895	29,398	27,299	12,5	2,1	10,4	10,8	107,93	
Fecola di patata	Griglia	0	1	10%	2	1032	48,721	16,8391	51,703	20,6856	34,9	31,0	3,8	3,9	39,47	64,43
Fecola di patata	Griglia	0	1	10%	3	1031	48,684	16,8907	40,2494	20,9945	23,4	19,3	4,1	4,2	42,15	
Fecola di patata	Griglia	0	1	10%	4	1019	48,129	16,808	34,106	20,796	17,3	13,3	4,0	4,1	41,43	
Fecola di patata	Griglia	0	1	10%	5	988	46,639	16,8668	24,2181	20,8956	7,4	3,3	4,0	4,3	43,19	
Fecola di patata	Griglia	0	1	10%	6	1031	48,685	16,846	25,9203	20,9089	9,1	5,0	4,1	4,2	41,73	
Fecola di patata	Griglia	0	1	25%	1	2525	46,987	16,8999	54,2836	20,5106	37,4	33,8	3,6	3,8	38,42	27,53
Fecola di patata	Griglia	0	1	25%	2	2550	47,465	16,8046	48,9906	20,4163	32,2	28,6	3,6	3,8	38,05	
Fecola di patata	Griglia	0	1	25%	3	2542	47,313	16,8609	45,0259	20,6873	28,2	24,3	3,8	4,0	40,44	

Semilavorato	Magnete/Griglia	Camicia	Pompe	Portata	Replica	Kg/h	Kg scaricati (Kg)	Peso Piastra (g)	Piastra con catturato (g)	Piastra con ferro raccolto (g)	Materiale Raccolto (g)	Materiale rimosso (Semilavorato) (g)	Fe Raccolto (g)	Fe su 50Kg	Efficienza (%)	Eff. analisi esterna
Fecola di patata	Griglia	0	1	25%	4	2526	47,01	16,8458	35,9597	20,6625	19,1	15,3	3,8	4,1	40,59	
Fecola di patata	Griglia	0	1	25%	5	2558	47,601	16,9136	44,1525	20,8777	27,2	23,3	4,0	4,2	41,64	
Farina di mais	Magnete	Si	2	10%	2	1164	50,138	16,4814	35,4216	26,1013	18,9	9,3	9,6	9,6	95,93	98,69
Farina di mais	Magnete	Si	2	10%	3	1141	49,12	16,9629	35,9265	26,6805	19,0	9,2	9,7	9,9	98,92	
Farina di mais	Magnete	Si	2	10%	4	1140	49,103	16,456	36,9233	25,9691	20,5	11,0	9,5	9,7	96,87	
Farina di mais	Magnete	Si	2	10%	5	1156	49,758	16,9886	36,7106	25,9291	19,7	10,8	8,9	9,0	89,84	
Farina di mais	Magnete	Si	2	10%	6	1147	49,39	16,9849	36,8334	25,9287	19,8	10,9	8,9	9,1	90,54	
Farina di mais	Magnete	Si	2	15%	1	1752	53,539	16,8087	39,6731	26,7921	22,9	12,9	10,0	9,3	93,23	97,87
Farina di mais	Magnete	Si	2	15%	2	1740	49,783	16,9833	36,3735	26,8771	19,4	9,5	9,9	9,9	99,37	
Farina di mais	Magnete	Si	2	15%	3	1784	51,052	16,4747	36,811	26,6733	20,3	10,1	10,2	10,0	99,88	
Farina di mais	Magnete	Si	2	15%	4	1785	51,085	16,9632	35,8042	26,5387	18,8	9,3	9,6	9,4	93,72	
Farina di mais	Magnete	Si	2	15%	5	1725	49,364	16,4625	34,4442	25,6307	18,0	8,8	9,2	9,3	92,86	
Farina di mais	Magnete	Si	2	25%	1	2921	55,982	16,967	33,7036	25,6324	16,7	8,1	8,7	7,7	77,39	91,87
Farina di mais	Magnete	Si	2	25%	2	2898	49,902	16,4846	30,444	25,0862	14,0	5,4	8,6	8,6	86,18	
Farina di mais	Magnete	Si	2	25%	3	2862	49,284	16,5015	30,852	25,3728	14,4	5,5	8,9	9,0	90,00	
Farina di mais	Magnete	Si	2	25%	4	2898	49,909	16,9894	29,8101	25,381	12,8	4,4	8,4	8,4	84,07	
Farina di mais	Magnete	Si	2	25%	5	2856	49,19	16,4722	30,8171	25,3638	14,3	5,5	8,9	9,0	90,38	
Farina di mais	Magnete	Si	1	10%	1	1164	48,49	16,47	42,01	25,17	25,5	16,8	8,7	9,0	89,76	96,62
Farina di mais	Magnete	Si	1	10%	2	1145	49,29	16,99	40,70	25,86	23,7	14,8	8,9	9,0	89,94	
Farina di mais	Magnete	Si	1	10%	3	1136	48,92	16,48	39,41	25,19	22,9	14,2	8,7	8,9	88,93	
Farina di mais	Magnete	Si	1	10%	4	1130	48,63	17,00	39,23	25,53	22,2	13,7	8,5	8,8	87,68	
Farina di mais	Magnete	Si	1	10%	5	1115	48,03	16,49	40,34	25,13	23,9	15,2	8,6	9,0	90,00	
Farina di mais	Magnete	No	2	10%	1	1148	51,001	16,7148	38,446	26,0786	21,7	12,4	9,4	9,2	91,8	97,49
Farina di mais	Magnete	No	2	10%	2	1124	49,959	17,2615	38,6256	26,1687	21,4	12,5	8,9	8,9	89,1	
Farina di mais	Magnete	No	2	10%	3	1146	50,915	16,7308	39,055	26,2315	22,3	12,8	9,5	9,3	93,3	
Farina di mais	Magnete	No	2	10%	4	1179	52,385	17,2818	40,08	27,1902	22,8	12,9	9,9	9,5	94,6	
Farina di mais	Magnete	No	2	10%	5	1152	51,212	16,6908	39,4	26,3035	22,7	13,1	9,6	9,4	93,9	
Farina di mais	Magnete	No	2	15%	1	1747	49,986	16,6964	36,0824	25,647	19,4	10,4	9,0	9,0	89,5	97,82
Farina di mais	Magnete	No	2	15%	2	1732	49,562	17,2193	36,5063	26,4847	19,3	10,0	9,3	9,3	93,5	
Farina di mais	Magnete	No	2	15%	3	1721	49,25	16,6648	36,1055	25,9063	19,4	10,2	9,2	9,4	93,8	
Farina di mais	Magnete	No	2	15%	4	1751	50,111	16,7306	35,1592	26,0509	18,4	9,1	9,3	9,3	93,0	
Farina di mais	Magnete	No	2	15%	5	1712	48,986	17,2554	35,487	26,3761	18,2	9,1	9,1	9,3	93,1	
Farina di mais	Magnete	No	2	25%	1	2839	48,889	16,9797	30,0587	24,2628	13,1	5,8	7,3	7,4	74,5	63,86
Farina di mais	Magnete	No	2	25%	3	2925	50,379	16,6928	29,6345	24,5033	12,9	5,1	7,8	7,8	77,5	
Farina di mais	Magnete	No	2	25%	4	2919	50,266	17,2427	32,587	25,6443	15,3	6,9	8,4	8,4	83,6	
Farina di mais	Magnete	No	2	25%	5	2888	49,732	17,2777	30,6315	25,2488	13,4	5,4	8,0	8,0	80,1	
Farina di mais	Magnete	No	2	25%	6	2909	50,103	16,7091	28,6853	24,5564	12,0	4,1	7,8	7,8	78,3	
Farina di mais	Magnete	No	1	10%	1	1185	51,00	17,23	39,83	26,47	22,60	13,36	9,23	9,05	90,51	97,43
Farina di mais	Magnete	No	1	10%	3	1146	50,92	17,26	44,36	26,78	27,09	17,58	9,51	9,34	93,40	
Farina di mais	Magnete	No	1	10%	4	1179	52,39	16,72	43,19	26,18	26,47	17,01	9,46	9,03	90,26	
Farina di mais	Magnete	No	1	10%	5	1095	48,69	17,25	39,07	26,16	21,81	12,90	8,91	9,15	91,50	
Farina di mais	Magnete	No	1	10%	6	1117	49,66	16,70	42,09	25,80	25,39	16,29	9,10	9,17	91,67	
Farina di mais	Griglia	0	0	10%	1	1232	56,80	16,10	57,99	25,54	41,88	32,45	9,43	8,30	83,05	82,37
Farina di mais	Griglia	0	0	10%	2	1212	50,51	16,29	57,85	24,35	41,56	33,50	8,06	7,98	79,75	
Farina di mais	Griglia	0	0	10%	3	1219	50,79	16,16	52,73	24,43	36,57	28,30	8,27	8,14	81,42	
Farina di mais	Griglia	0	0	10%	4	1233	51,36	16,12	53,56	24,28	37,44	29,28	8,16	7,95	79,46	
Farina di mais	Griglia	0	0	10%	5	1197	49,88	16,32	54,16	24,27	37,84	29,89	7,95	7,97	79,68	
Farina di mais	Griglia	0	0	15%	1	1797	51,41	17,27	44,35	25,03	27,08	19,33	7,76	7,54	75,44	97,00
Farina di mais	Griglia	0	0	15%	2	1760	50,36	16,14	48,95	23,41	32,81	25,54	7,27	7,22	72,16	
Farina di mais	Griglia	0	0	15%	3	1830	52,35	16,34	61,14	24,21	44,80	36,93	7,87	7,51	75,13	
Farina di mais	Griglia	0	0	15%	4	1787	51,13	16,16	55,83	22,91	39,67	32,92	6,75	6,60	65,98	

Semilavorato	Magnete/Griglia	Camicia	Pompe	Portata	Replica	Kg/h	Kg scaricati (Kg)	Peso Piastra (g)	Piastra con caturato (g)	Piastra con ferro raccolto (g)	Materiale Raccolto (g)	Materiale rimosso (Semilavorato) (g)	Fe Raccolto (g)	Fe su 50Kg	Efficienza (%)	Eff. analisi esterna
Farina di mais	Griglia	0	0	15%	5	1781	50,97	16,28	51,57	23,13	35,29	28,44	6,85	6,72	67,17	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	2	10%	1	1644	50,22	16,32	27,16	25,43	10,84	1,73	9,11	9,07	90,66	96,20
Fiocchi di patata	Magnete	Si	2	10%	2	1666	50,91	16,11	26,14	25,79	10,04	0,35	9,68	9,51	95,12	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	2	10%	3	1654	50,55	16,29	26,04	25,31	9,76	0,74	9,02	8,92	89,22	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	2	10%	4	1653	50,52	16,10	28,37	26,10	12,27	2,27	10,00	9,90	98,96	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	2	10%	5	1656	50,59	16,30	29,53	26,39	13,23	3,14	10,09	9,98	99,75	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	2	16%	1	2291	50,90	16,32	27,77	25,74	11,45	2,03	9,42	9,25	92,50	94,50
Fiocchi di patata	Magnete	Si	2	16%	2	2290	50,90	16,15	27,74	25,83	11,60	1,91	9,68	9,51	95,11	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	2	16%	3	2314	51,43	16,14	28,48	26,14	12,34	2,34	10,00	9,72	97,17	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	2	16%	4	2290	50,89	16,35	28,42	26,42	12,08	2,00	10,08	9,90	98,99	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	2	16%	5	2307	51,26	16,15	27,93	25,99	11,78	1,93	9,84	9,60	96,02	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	2	22%	1	2851	51,47	16,21	27,36	25,90	11,16	1,46	9,69	9,42	94,16	95,66
Fiocchi di patata	Magnete	Si	2	22%	2	2850	51,46	16,38	27,26	25,79	10,88	1,47	9,41	9,15	91,46	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	2	22%	3	2844	51,35	16,20	26,67	25,45	10,47	1,22	9,24	9,00	89,98	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	2	22%	4	2629	47,46	16,40	25,11	24,49	8,72	0,63	8,09	8,52	85,25	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	2	22%	5	2825	51,02	16,18	26,30	25,12	10,11	1,17	8,94	8,76	87,62	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	1	10%	1	1302	60,02	16,72	32,38	27,92	15,66	4,46	11,20	9,33	93,27	95,04
Fiocchi di patata	Magnete	Si	1	10%	2	1299	52,66	16,75	29,34	26,16	12,59	3,17	9,42	8,94	89,41	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	1	10%	3	1302	50,65	17,23	30,15	26,72	12,92	3,43	9,49	9,37	93,67	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	1	10%	4	1357	52,77	16,63	30,19	26,84	13,55	3,35	10,21	9,67	96,72	
Fiocchi di patata	Magnete	Si	1	10%	5	1307	50,84	16,47	29,15	25,89	12,68	3,26	9,42	9,26	92,61	
Fiocchi di patata	Magnete	No	2	10%	1	1616	53,86	16,32	27,96	26,07	11,64	1,89	9,75	9,05	90,54	96,07
Fiocchi di patata	Magnete	No	2	10%	2	1611	49,22	16,37	28,72	25,91	12,35	2,81	9,54	9,69	96,92	
Fiocchi di patata	Magnete	No	2	10%	3	1677	51,23	17,23	30,25	27,13	13,02	3,11	9,90	9,66	96,65	
Fiocchi di patata	Magnete	No	2	10%	4	1675	51,19	17,36	31,09	27,53	13,72	3,55	10,17	9,93	99,34	
Fiocchi di patata	Magnete	No	2	10%	5	1684	51,47	16,56	29,51	26,63	12,96	2,88	10,08	9,79	97,92	
Fiocchi di patata	Magnete	No	2	16%	1	2277	50,61	16,32	28,52	26,16	12,20	2,36	9,84	9,72	97,24	107,73
Fiocchi di patata	Magnete	No	2	16%	2	2269	50,42	16,14	27,89	25,65	11,75	2,24	9,51	9,43	94,25	
Fiocchi di patata	Magnete	No	2	16%	3	2264	50,31	16,32	27,90	25,74	11,58	2,16	9,42	9,36	93,63	
Fiocchi di patata	Magnete	No	2	16%	4	2253	50,07	16,15	27,78	25,59	11,63	2,19	9,44	9,43	94,32	
Fiocchi di patata	Magnete	No	2	16%	5	2269	50,42	16,31	28,03	25,90	11,72	2,13	9,59	9,51	95,10	
Fiocchi di patata	Magnete	No	2	22%	1	2668	48,17	16,28	25,36	24,35	9,08	1,01	8,07	8,37	83,71	81,81
Fiocchi di patata	Magnete	No	2	22%	2	2625	47,39	16,16	24,50	23,52	8,34	0,98	7,36	7,77	77,70	
Fiocchi di patata	Magnete	No	2	22%	3	2631	47,50	16,35	24,78	23,94	8,43	0,84	7,59	7,99	79,86	
Fiocchi di patata	Magnete	No	2	22%	4	2915	52,64	16,13	27,54	25,41	11,41	2,14	9,28	8,81	88,11	
Fiocchi di patata	Magnete	No	2	22%	5	2892	52,21	16,31	27,60	25,53	11,29	2,07	9,22	8,83	88,25	
Fiocchi di patata	Magnete	No	1	10%	1	1355	48,92	16,15	28,89	25,48	12,74	3,41	9,33	9,54	95,36	82,25
Fiocchi di patata	Magnete	No	1	10%	2	1358	49,04	16,33	28,64	25,54	12,31	3,10	9,21	9,39	93,90	
Fiocchi di patata	Magnete	No	1	10%	3	1344	48,55	16,13	28,12	25,29	11,99	2,83	9,16	9,43	94,33	
Fiocchi di patata	Magnete	No	1	10%	4	1331	48,07	16,32	27,45	25,14	11,13	2,32	8,81	9,17	91,69	
Fiocchi di patata	Magnete	No	1	10%	5	1323	47,77	16,12	27,68	25,25	11,56	2,42	9,13	9,56	95,61	
Fiocchi di patata	Griglia	0	0	10%	1	1627	49,70	16,24	34,58	24,88	18,34	9,70	8,64	8,70	86,95	91,73
Fiocchi di patata	Griglia	0	0	10%	2	1580	48,27	16,42	42,19	25,54	25,77	16,65	9,12	9,45	94,46	
Fiocchi di patata	Griglia	0	0	10%	3	1585	48,44	16,55	36,82	25,66	20,28	11,16	9,11	9,41	94,07	
Fiocchi di patata	Griglia	0	0	10%	4	1611	49,23	16,57	36,28	25,51	19,71	10,77	8,94	9,08	90,79	
Fiocchi di patata	Griglia	0	0	10%	5	1637	50,01	16,22	38,22	25,28	22,00	12,93	9,06	9,06	90,62	
Fiocchi di patata	Griglia	0	0	22%	1	2796	46,60	16,67	28,54	23,73	11,87	4,81	7,06	7,58	75,79	74,65
Fiocchi di patata	Griglia	0	0	22%	2	2802	50,59	17,24	28,68	24,70	11,44	3,98	7,46	7,37	73,73	
Fiocchi di patata	Griglia	0	0	22%	3	2841	51,30	16,67	32,65	25,22	15,98	7,43	8,55	8,33	83,32	
Fiocchi di patata	Griglia	0	0	22%	4	2788	50,33	16,32	31,32	24,67	14,99	6,65	8,35	8,29	82,90	
Fiocchi di patata	Griglia	0	0	22%	5	2784	50,27	17,27	30,11	25,54	12,85	4,57	8,27	8,23	82,31	

## RINGRAZIAMENTI

Giunto alla conclusione del mio percorso universitario ci tengo a ringraziare tutti coloro che mi hanno aiutato nella realizzazione di questo progetto.

In primo luogo, vorrei ringraziare il Professor Paolo Carletti che è stato sempre a mia disposizione per chiarimenti o altre necessità, aiutandomi a sviluppare correttamente idee e test relative al progetto.

Vorrei poi ringraziare Mafin S.r.l. di Galliera Veneta per l'ospitalità e la disponibilità nei miei confronti durante tutto il periodo di stage e di realizzazione della tesi.

Vorrei ringraziare in particolar modo l'ingegner Stefano Pavan per avermi accolto all'interno di questa realtà, il mio tutor Enrico Pellizzari che ha mostrato la piena disponibilità nei miei confronti e che mi ha aiutato attivamente durante la realizzazione dei test aziendali ed Eraldo Guidolin, responsabile del laboratorio che mi ha proposto la tesi in questione indirizzandomi più volte verso il corretto svolgimento del progetto. Un grazie va poi a tutti gli altri colleghi del laboratorio che mi hanno accolto ed aiutato durante il periodo svolto in azienda.

Vorrei ringraziare ora tutti coloro che mi hanno sostenuto, sopportato e supportato durante parte o per tutto il mio percorso universitario.

Al primo posto voglio ringraziare la mia famiglia, i miei genitori in primis per avermi permesso di svolgere questo percorso, per non avermi mai fatto mancare nulla e per avermi sostenuto nei momenti difficili. Grazie poi a mio fratello Marco e a tutti parenti che mi sono stati vicini e che mi hanno sempre motivato a continuare.

Vorrei poi ringraziare una persona speciale, questo grazie va a Martina, la mia fidanzata. Lei che mi è sempre stata vicina, che non mi ha mai fatto abbattere, che ha saputo tranquillizzarmi nei momenti d'ansia e che mi ha fatto sempre sorridere e stare bene.

Un ultimo grazie va in fine ai "tosi" e a tutta la cerchia di amici che mi hanno sempre regalato momenti di allegria e di divertimento riducendo di gran lunga la pesantezza delle sessioni.