

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali

Relazione per la prova finale
«Analisi economica ed ambientale della sezione di
essiccamento termico della linea di trattamento dei
fanghi dell'impianto di Montebello Vicentino»

Tutor universitario: Prof. Christian Durante

Laureando: *Giulio Franchin*

Padova, 03/03/2022

L'impianto di depurazione acque di Montebello vicentino è diviso in due sezioni principali:

- Linea trattamento acque
- Linea trattamento fanghi

La linea trattamento fanghi è utilizzata per separare la sostanza secca dall'acqua.

Per fare questo si utilizzano tre tipi di disidratazioni di natura diversa

- Ispessimento
- Centrifugazione
- turbo essiccazione

- Operare un'analisi energetica attorno al turbo essiccatore.
- Operare un'analisi economica per trovare il set-up operativo meno oneroso.
- Operare un'analisi ambientale per trovare il set-up operativo meno inquinante.
- Capire quale sia il giusto compromesso operativo

L'analisi energetica è il cuore di questo progetto che prevede, al termine dello stesso, di conoscere il punto operativo più consono per i nostri obiettivi. L'analisi energetica prevede una serie di prove in diverse condizioni operative, la raccolta dei dati e la loro elaborazione. La condizione operativa che modifichiamo è la percentuale di Sostanza secca in uscita all'essiccatore in quanto questo è un dato che riusciamo a misurare e a manipolare, è poi il dato più significativo che ci rappresenta la situazione post-essiccamento.

Per questo studio abbiamo deciso di utilizzare il modello black box:

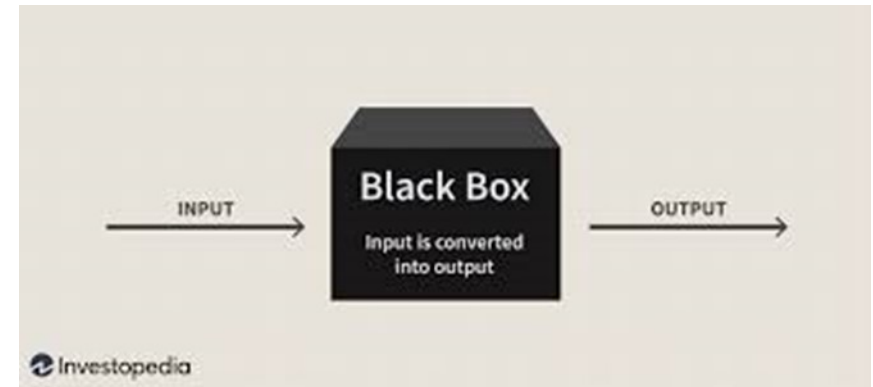
Il black box è un modello operativo, utilizzato in molteplici applicazioni, che prevede l'interpretazione dell'oggetto di interesse come una "scatola nera" per la quale non sappiamo e non ci interessiamo di ciò che avviene al suo interno, ma ci interessa sapere e studiare cosa entra e cosa esce.

INPUT:

- a. Gas di processo
- b. Fango umido
- c. Olio diatermico caldo

OUTPUT:

- a. Gas di processo umido
- b. Fango secco
- c. Olio diatermico freddo



Le prove consistono nel portare l'essiccatore alle condizioni di ottenere in uscita la percentuale di Sostanza Secca scelta e, dopo la stabilizzazione delle condizioni dell'essiccatore, andare a raccogliere i dati significativi per analisi quali:

1. La percentuale di sostanza secca in ingresso all'essiccatore;
2. La quantità di metano utilizzato in un arco temporale;
3. Le quantità di entrata e uscita della centrifuga nello stesso arco temporale precedentemente utilizzato;

Si è deciso di fare 4 prove alle percentuali di 75%; 83,5%; 87%; 92%; di Sostanza Secca e con le modalità appena descritte abbiamo raccolto i seguenti dati:

% Sostanza Secca in uscita all'essiccatore	% Sostanza Secca in entrata all'essiccatore	CH4 consumato m^3/h	fango in entrata alla centrifuga m^3/h	poilelettrolita aggiunto m^3/h	acqua in uscita alla centrifuga m^3/h	uscita fango centrifuga m^3/h
75,0%	26,0%	287,17	21,25	4,81	24,37	1,69
83,5%	25,0%	265,51	21,90	4,60	25,00	1,50
87,0%	24,9%	245,04	25,00	4,25	28,00	1,25
92,0%	27,2%	226,74	22,73	5,50	27,50	0,73

L'analisi energetica per i diversi set-up porta a questi risultati:

% Sostanza secca in uscita essiccatore	m^3 di CH_4 per trattamento di un m^3 di fango	kcal per trattamento di un m^3 di fango
75.0%	173.18	1484152,6
83.5%	177.00	1516890,0
87.0%	195.69	1677063,3
92.0%	321.34	2753883,8

L'analisi economica va a guardare quali sono i contributi di costo più significativi che variano al variare degli assetti produttivi per poterli poi confrontare.

I contributi di costo variabili nei confronti della percentuale di Sostanza Secca che risultano significativi sono:

- Costo del metano
- Costo dello smaltimento

Costo del metano

Il costo del metano, dato dai fornitori di Medio Chiampo spa è di 1 €/m^3 , di conseguenza il costo del metano è analogo al suo consumo in metri cubi

Costo dello smaltimento

Lo smaltimento in discarica costa 250 €/m^3 , considerando che in entrata ho 0.25 m^3 di sostanza secca per ogni metro cubo di fango. Utilizzo le proporzioni necessarie per sapere quanto fango produco per ogni set-up portando l'esempio la 75%.

Per il 75.0% di sostanza secca ho:

$$100 : y = 75.0 : 0.25$$

y `e la quantità di fango prodotto con questo set-up: $y = 0.334 \text{ m}^3$

Ho che i costi dello smaltimento sono:

$$\text{Per il 75.0\% di Sostanza secca ho: } 0,334 \text{ m}^3 * 250 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 83.50 \text{ €}$$

$$\text{Per l'83,5\% di Sostanza secca ho: } 0,299 \text{ m}^3 * 250 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 74.75 \text{ €}$$

$$\text{Per l'87.0\% di Sostanza secca ho: } 0,287 \text{ m}^3 * 250 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 71.75 \text{ €}$$

$$\text{Per il 92.0\% di Sostanza secca ho: } 0,272 \text{ m}^3 * 250 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 68.00 \text{ €}$$

Costo totale

I costi di produzione variabili rispetto alla concentrazione di sostanza secca risultano essere i seguenti:

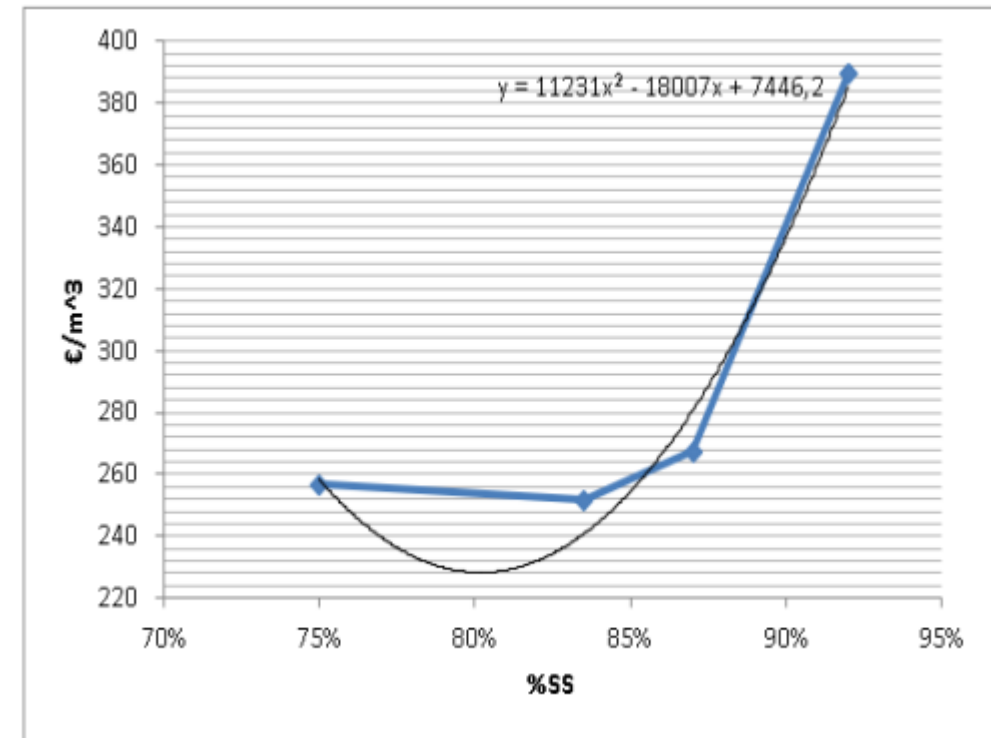
$$\text{Per il 75.0\% di Sostanza secca ho: } 173.18 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} + 83.50 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 256.68 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Per l'83,5\% di Sostanza secca ho: } 177.00 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} + 74.75 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 251.75 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Per l'87.0\% di Sostanza secca ho: } 195.69 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} + 71.75 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 267.44 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Per il 92.0\% di Sostanza secca ho: } 321.34 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} + 68.00 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 389.34 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

Interpolando con questi dati si ottiene la seguente curva:



L'analisi ambientale ci dice se il determinato set-up è, o meno, inquinante andando a valutare l'impatto sull'ambiente in termini di CO_2 equivalente.

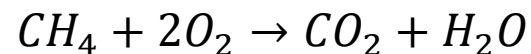
1. Emissioni di produzione
2. Emissioni di trasporto
3. Emissioni in discarica



Emissioni di produzione

Questo contributo è relativo al consumo di metano della caldaia che ci scalda l'olio diatermico il quale funge da fluido vettore per il riscaldamento del fango nell'essiccatore. Grazie all'analisi energetica precedentemente svolta, conosciamo la quantità di metano utilizzata per il trattamento di un metro cubo di fango, di conseguenza è necessario studiare la reazione di combustione del metano per riuscire a capire quanta CO_2 produco per metro cubo di fango trattato.

La reazione di combustione del metano è la seguente:



Di conseguenza, considerando i dati di densità e peso molare, calcolo la quantità di CO_2 ottenendo i risultati riportati in tabella.

$$\rho_{CH_4}(25C) = 0.657 \frac{kg}{m^3}$$

$$PM_{CH_4} = 16.04 \frac{kg}{kmol}$$

$$\rho_{CO_2}(25C) = 1.8075 \frac{kg}{m^3}$$

$$PM_{CO_2} = 44.01 \frac{kg}{kmol}$$

% Sostanza secca	m^3 di CH_4 utilizzati	kg di CH_4 utilizzati	kmoli di CH_4 utilizzati
75.0%	0,17318	0,11378	0,0070935
83.5%	0,17700	0,11629	0,0072499
87.0%	0,19569	0,12857	0,0081559
92.0%	0,32134	0,21112	0,0131621

% Sostanza secca	kmoli di CO_2 prodotte	kg di CO_2 prodotti	g di CO_2 prodotti
75.0%	0,0070935	0,3122	312,2
83.5%	0,0072499	0,3191	319,1
87.0%	0,0081559	0,3589	358,9
92.0%	0,0131621	0,5793	579,3

Emissioni di trasporto

Il trasporto del fango in discarica rappresenta uno step di emissione importante viste le distanze percorse per raggiungere i siti autorizzati a gestire un rifiuto di questo tipo:

il fango viene trasportato dal reparto dove viene insaccato, fino alle discariche, tramite camion.

I mezzi utilizzati appartengono alla categoria HDV (“Heavy Duty Vehicles”) per i quali ho un’emissione di $240 \text{ gCO}_2/\text{km}$.

I siti addetti allo stoccaggio del fango si trovano a Savona e Brescia. Ho che il percorso medio è di 218,5km per i quali devo contare anche il ritorno:

$$2 * 218,5 \text{ km} * 240 \frac{\text{g}}{\text{km}} = 104880 \text{ g di } CO_2$$

$$\downarrow$$

$$\frac{104880 \text{ g}}{28000 \text{ kg}} = 3.746 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kg fangotrasportato}}$$

Riutilizzo quindi le quantità di fango prodotte per le diverse concentrazioni e vado a quantificare i contributi del trasporto del fango in discarica per i diversi set-up dal punto di vista ambientale:

Per il 75.0% produco 0,334kg di fango:

$$0.334 \frac{\text{kg fangotrasportato}}{\text{kg fangotrattato}} * 3.746 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kg fangotrasportato}} = 1.2512 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kg fangotrattato}}$$

Per il 83.5% produco 0,299kg di fango:

$$0.299 \frac{\text{kg fangotrasportato}}{\text{kg fangotrattato}} * 3.746 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kg fangotrasportato}} = 1.1201 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kg fangotrattato}}$$

Per il 87.0% produco 0,287kg di fango:

$$0.287 \frac{\text{kg fangotrasportato}}{\text{kg fangotrattato}} * 3.746 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kg fangotrasportato}} = 1.0751 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kg fangotrattato}}$$

Per il 92.0% produco 0,272kg di fango:

$$0.272 \frac{\text{kg fangotrasportato}}{\text{kg fangotrattato}} * 3.746 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kg fangotrasportato}} = 1.0189 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kg fangotrattato}}$$

Emissioni in discarica

Questo però è il contributo più difficile da quantificare, in quanto non sappiamo esattamente come si comporta il nostro fango in tali condizioni di stoccaggio.

Le ricerche effettuate dai vari enti, quali l'EMEP o enti nazionali, non hanno portato nulla di specifico per il fango che si ottiene presso Medio Chiampo spa. Si è quindi pensato di valutare lo stoccaggio in discarica, dal punto di vista ambientale, come un bruciatore del fango, che porta quindi ad ottenere la CO_2 equivalente della combustione del fango. Per fare questo abbiamo utilizzato i dati forniti da EMEP (agenzia europea per l'ambiente) che per il nostro rifiuto industriale danno, come produzione di CO_2 per combustione

$$143.0 \frac{tCO_2}{T_j} = 0.143 \frac{gCO_2}{kj}$$

L'azienda, da analisi interne, fornisce il dato di calore di combustione del fango: $11900 \frac{kj}{kg \text{ di fango}}$

Detto questo ottengo il fattore che ci dà in seguito il contributo di CO_2 equivalente per lo stoccaggio del fango:

$$emissione - in - discarica = 0.000143 \frac{kgCO_2}{kj} * 11900 \frac{kj}{kgfango} = 1.7017 \frac{kgCO_2}{kgfango}$$

Ora che ho ottenuto il fattore posso ottenere la quantità di CO_2 equivalente per ogni set-up utilizzato:

Per il 75.0% ho:

$$1.7017 \frac{kgCO_2}{kgfango\text{prodotto}} * 0.334 \frac{kgfango\text{prodotto}}{kgfango\text{trattato}} = 0.5684 \frac{kgCO_2}{kgtrattato} = 568.4 \frac{gCO_2}{kgfango\text{trattato}}$$

Per il 83.5% ho:

$$1.7017 \frac{kgCO_2}{kgfango\text{prodotto}} * 0.299 \frac{kgfango\text{prodotto}}{kgfango\text{trattato}} = 0.5088 \frac{kgCO_2}{kgtrattato} = 508.8 \frac{gCO_2}{kgfango\text{trattato}}$$

Per il 87.0% ho:

$$1.7017 \frac{kgCO_2}{kgfango\text{prodotto}} * 0.287 \frac{kgfango\text{prodotto}}{kgfango\text{trattato}} = 0.4884 \frac{kgCO_2}{kgtrattato} = 488.4 \frac{gCO_2}{kgfango\text{trattato}}$$

Per il 92.0% ho:

$$1.7017 \frac{kgCO_2}{kgfango\text{prodotto}} * 0.272 \frac{kgfango\text{prodotto}}{kgfango\text{trattato}} = 0.4629 \frac{kgCO_2}{kgtrattato} = 462.9 \frac{gCO_2}{kgfango\text{trattato}}$$

Emissioni totali

Le emissioni totali sono date dalla somma dei contributi precedentemente calcolati:

Interpolando con questi dati si ottiene la seguente curva:

Per il 75.0% ho:

$$1.25 \frac{gCO_2}{kg_{fangotrattato}} + 312.2 \frac{gCO_2}{kg_{fangotrattato}} + 568.4 \frac{gCO_2}{kg_{fangotrattato}} = 881.85 \frac{gCO_2}{kg_{trattato}}$$

Per il 83.5% ho:

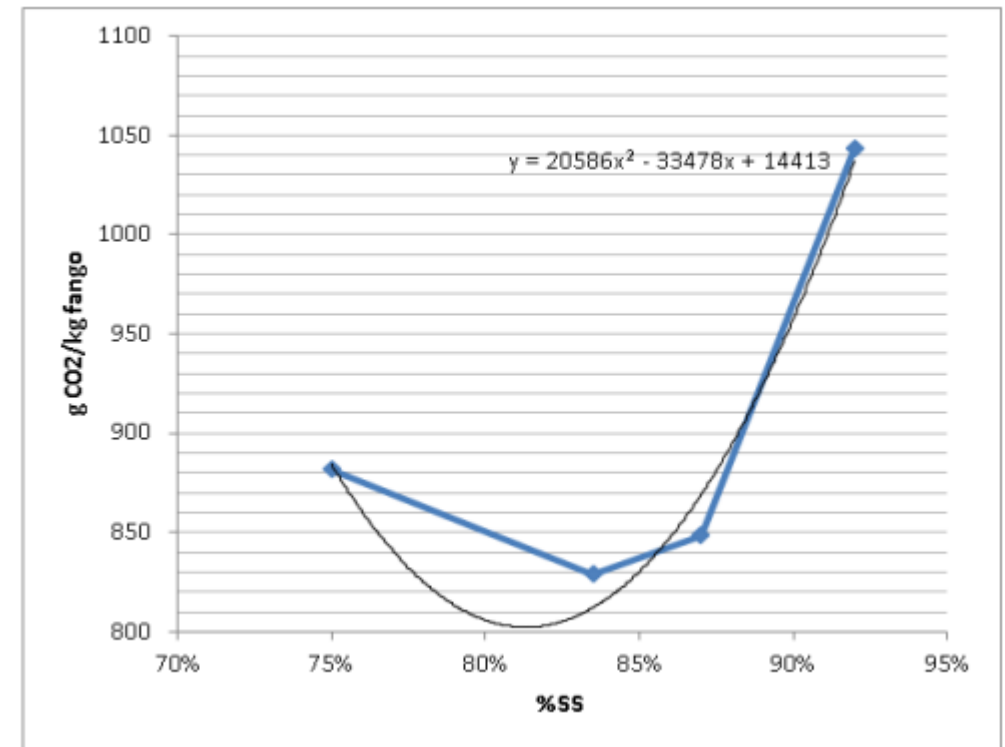
$$1.12 \frac{gCO_2}{kg_{fangotrattato}} + 319.1 \frac{gCO_2}{kg_{fangotrattato}} + 508.8 \frac{gCO_2}{kg_{fangotrattato}} = 829.02 \frac{gCO_2}{kg_{trattato}}$$

Per il 87.0% ho:

$$1.08 \frac{gCO_2}{kg_{fangotrattato}} + 358.9 \frac{gCO_2}{kg_{fangotrattato}} + 488.4 \frac{gCO_2}{kg_{fangotrattato}} = 848.38 \frac{gCO_2}{kg_{trattato}}$$

Per il 92.0% ho:

$$1.02 \frac{gCO_2}{kg_{fangotrattato}} + 579.3 \frac{gCO_2}{kg_{fangotrattato}} + 462.9 \frac{gCO_2}{kg_{fangotrattato}} = 1043.22 \frac{gCO_2}{kg_{trattato}}$$



In conclusione, le prove effettuate hanno permesso di identificare un intervallo del parametro Sostanza Secca in uscita dall'essiccatore, nel quale conviene lavorare allo scopo di ottimizzare la produzione. Le prove effettuate hanno evidenziato la grande differenza in termini di produzione, trasporto e smaltimento di fango e il consumo di metano nelle diverse condizioni operative.

Il focus sui due caratteri determinanti la convenienza è stata fondamentale: il fattore economico e quello ambientale vanno di pari passo nella scala gerarchica che individua la convenienza del processo.

Fortunatamente abbiamo scoperto, grazie a queste prove, che vanno di pari passo non solo per importanza, ma anche nel range operativo ottimale, in quanto essi sono molto vicini. Ricordando che si può selezionare un valore del parametro medio, per il quale il dato puntuale oscilla attorno, è naturale conseguenza pensare che il set-up migliore è quello a metà tra i due ottimali trovati nell'analisi economica ed ambientale.

Essendo arrivati al raggiungimento dell'obiettivo preposto, l'esperienza di tirocinio presso l'impianto di Medio Chiampo spa è stata molto positiva e formativa.