



UNIVERSITÀ DI PISA

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA DEI SISTEMI
DEL TERRITORIO E DELLE COSTRUZIONI**

**RELAZIONE PER IL CONSEGUIMENTO DELLA
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE**

***Studio della macchina a PLASMA ARC FLOW
all'interno di procedure innovative di depurazione
reflui altamente impattanti***

SINTESI

RELATORI

Prof. Ing. Gualtiero FANTONI

Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale

Dott. Ing. Carmine MONGIELLO

ENEA, CR Portici

IL CANDIDATO

Giuseppe VINGO

giuseppevingo@hotmail.it

Sessione di Laurea Magistrale del 29/04/2020

Studio della macchina a PLASMA ARC FLOW all'interno di procedure innovative di depurazione reflui altamente impattanti

Giuseppe VINGO

Sommario

Il lavoro ha avuto come obiettivo l'analisi e l'ottimizzazione di una metodica di trattamento reflui altamente impattanti derivanti a valle di procedimenti industriali e da rifiuti speciali mediante una macchina che sfrutta una tecnologia al plasma, Plasma Arc Flow (PAF), brevettata negli Stati Uniti e che presenta in uscita, come sottoprodotti, oltre ad un'acqua sostanzialmente sterilizzata, un syngas ed un residuo fisso inerte. Nella tesi viene altresì analizzato il piano normativo, nell'ottica di addivenire ad una certificazione tale da consentire la successiva commercializzazione del prodotto, partendo dallo stato dell'arte del trattamento a norma dei rifiuti speciali in Italia. Il lavoro di tesi è stato sviluppato in collaborazione con Enea, che si occupa di implementazione e di integrazione di tecnologie ambientali innovative, in questo caso insieme ad AIRMEC in qualità di detentore dell'apparato, nell'ambito di un progetto molto più vasto finalizzato a realizzare l'ecosmaltimento di rifiuti speciali, genericamente pericolosi, solidi e liquidi, attraverso l'inserimento del succitato impianto all'interno del processo, al fine di minimizzare l'impatto ambientale ed i consumi energetici. Segnatamente questa attività si incentra sulla possibilità di installazione di due tipologie di impianti di gassificazione di tipo prototipale preindustriale per lo smaltimento di due classi di rifiuti speciali: plastiche di risulta da raccolta differenziata e rifiuti ospedalieri. Nel contesto di tale processo viene valutato il risvolto economico, considerando quale elemento cardine per la sostenibilità economica la quantità di fluido impattante proveniente dall'esterno con differenti caratteristiche, costituito prevalentemente da reflui ospedalieri, reflui da laboratorio e altri reflui pericolosi, a cui andranno aggiunti anche tutti i reflui venutisi a creare durante le fasi del progetto.

Abstract

Aim of the work was to analyze and optimize a treatment method of highly impacting fluid waste deriving from industrial processes and special waste downstream using a machine that adopts a plasma technology, Plasm Arc Flow (PAF), patented in the United States and which present as outputs, in addition to a substantially sterilized water, syngas and inert fixed residue. The thesis even analyzes the possibility to obtain a regulatory plan exploring the perspective to reach a certification that allows the subsequent product saling, starting from the state of the art of special waste in Italy. The thesis work was developed in collaboration with ENEA, which plays the rule of implementation and integration of innovative environmental technologies, together with AIRMEC as owner of the apparatus, in context of a much wider project aimed to realize a sustainable dealing process of special waste (solid and liquid), generically dangerous one, adopting such innovative plant into the whole process in order to minimize the environmental impact and energy consumption. In particular, this activity is based on the possibility of installing two types of pre-industrial prototype gasification plants for the disposal of two kind of special waste: plastic derived by separation and hospital waste. In the context of this process, the economic implications are assessed, considering as the key element for economic sustainability the quantity of impacting fluid coming from the outside with different characteristics, mainly consisting of hospital waste, laboratory waste and other hazardous waste, to which also all the wastewater created during the project phases will be added.

1. Rifiuti

Nella prima parte della tesi sono stati analizzati i rifiuti presi in esame ed oggetto delle attività di interesse di Enea, in particolare i rifiuti liquidi tema della tesi, e si è proceduto alla disamina dei dati sperimentali disponibili. I reflui presi in considerazione sono principalmente i rifiuti speciali provenienti da ospedali, laboratori di analisi (industriali e ricerca) e percolato prodotto dalle discariche. Sono state altresì prese in considerazione le plastiche non altrimenti riciclabili che, secondo i dati di Irpiniarecuperi srl, corrisponderebbero a circa il 70% del totale della plastica raccolta; suddette plastiche, altrimenti destinate a discarica, sottoposte a gassificazione per la loro successiva valorizzazione, prevedono una produzione indiretta di acque contaminate derivanti dalla ripulitura del syngas attraverso scrubber che vanno trattate affinché possano esser riutilizzate nel ciclo lavorativo. I rifiuti speciali, a seguito dell'introduzione di una direttiva della Comunità Europea, sono classificati secondo un codice CER (acronimo di Catalogo Europeo dei Rifiuti) e inseriti in uno specifico elenco.

1.1 Reflui ospedalieri

Sono considerati reflui ospedalieri tutti quei rifiuti speciali in forma liquida prodotti in ospedali e strutture sanitarie. Secondo un report di Isprambiente (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), i rifiuti ospedalieri nel 2017 sono stati 12.224 tonnellate, mentre nel bando dei rifiuti della Campania risultano 30.000 tonnellate di rifiuti, quasi il triplo. Di seguito in tab.1 si riportano le quantità in kg dei singoli codici CER di rifiuti liquidi presenti nel bando.

	QUANTITA' (kg)	PREZZO UNITARIO €(Pu)	PREZZO TOTALE €(Q×Pu)
180106 / 180205	4651278	€ 0,36	€ 1674460
180102	55094	€ 0,88	€ 48482,72
090100	51560	€ 0,90	€ 46404

Tab.1 Prezzi rifiuti speciali liquidi ospedalieri. Fonte bando So.re.sa Spa

Il prezzo medio: $Pm = \sum \frac{(Q \times Pu)}{Qt} = € 0,38$

1.2 Reflui da laboratorio

Andando ad analizzare il piano regionale dei rifiuti speciali della Campania del 2012, piano ancora attivo, trovo le quantità di rifiuto prodotte in Campania dei codici CER interessati. In tab.2 sono riportate le quantità.

Elenco Rifiuti	Codice CER	QUANTITA' (kg)	Prezzo al kg
Solventi organici, soluzioni di lavaggio e acque madri	070103-04	9571	€ 1,50
Toner per stampanti	080317-18	55094	€ 0,90
Rifiuti industri fotografica	090101-03-04	3518035	€ 0,50
Oli esausti	130208	11016718	€ 0,70
Sostanze chimiche di laboratorio	160506	19431	€ 2,50

Tab.2 Rifiuti di laboratorio. Fonte piano regionale rifiuti Campania

Il prezzo medio: $Pm = \sum \frac{(Q \times Pu)}{Qt} = € 0,66$

1.3 Reflui prodotti da impianti trattamento rifiuti

I rifiuti provenienti dal codice CER19, secondo l'indagine di Isprambiente del 2018, sono il 30% del totale dei rifiuti speciali in Italia. Come fatto precedentemente, si riportano le quantità prodotte in Campania in un anno secondo il piano regionale dei rifiuti. In tab.3 troviamo

l'elenco dei codici CER e le relative quantità insieme al prezzo secondo il listino prezzi delle aziende del settore.

Elenco Rifiuti	Codice CER	Prezzo	QUANTITA' (kg)
Rifiuti liquidi derivanti da trattamento fumi	190106	0,3 €	12275
Percolato	190702-03	0,036 €	384198596
Fanghi da trattamento reflui chimici	190205	0,15 €	864458

Tab.3 Rifiuti provenienti da aziende da trattamento rifiuti. Fonte piano regionale rifiuti Campania

Il prezzo medio: $Pm = \sum \frac{(Q \times Pu)}{Qt} = € 0,037$

1.4 Reflui acque derivanti da pulitura scrubber

Sono le acque generate dall'utilizzo dello scrubber per il lavaggio del syngas prodotto dai gassificatori. Lo scrubber, infatti, è un'apparecchiatura che consente di abbattere la concentrazione di sostanze presenti in una corrente gassosa. In questo caso si evita ogni perdita di CO e di H₂, e si utilizza l'acqua come liquido di lavaggio, conseguendo significativi vantaggi. Ci sono molti tipi di scrubber ad acqua, ma Airmec, specializzata nella loro costruzione, utilizza lo scrubber Venturi, il quale sfrutta l'alta velocità del gas per realizzare un elevato contatto liquido-gas. Secondo i dati elaborati dagli ingegneri dell'Airmec, per pulire 1000 m³/h di syngas c'è bisogno di circa 6 m³/h di acqua. L'acqua in uscita dallo scrubber non può essere fatta confluire in fogna secondo il succitato decreto e per questo motivo dovrà essere smaltita; il costo di mercato stimato ha un valore medio di circa 200/300 €/t.

1.5 Normazione

Nella tesi si affronta la problematica delle norme che regolano la gestione dei rifiuti, sia urbani e sia speciali, riportando valori e criteri per lo smaltimento. Analizzando il **Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152**, si può notare che, non essendo sufficientemente recente, non tiene conto di nuove tecnologie nate negli ultimi anni e per questo motivo esistono dei vuoti normativi che Enea vuole far coprire al legislatore. Non viene fatta menzione delle acque derivanti dalla sterilizzazione o dalla gassificazione, quindi non è possibile sapere se per legge queste acque possano essere o meno miscelate. Focus del lavoro sarà individuare eventuali norme di indirizzo.

1.6 Tecniche di Smaltimento

In questo paragrafo si analizza l'ultimo report di Isprambiente riguardante i rifiuti speciali in Italia, in cui vengono valutate le tecniche di smaltimento maggiormente usate che sono:

- Inceneritore;
- Gassificatore;
- Sterilizzatore;
- Trasformatore CSS.

2. Macchina ad arco al plasma

La macchina ad arco al plasma è brevettata dalla società americana Magnegas Corporation, azienda operante nell'ambito del gas e leader nella tecnologia pulita e nelle risorse rinnovabili, rinominata nel 2019 Taronis Technologies Inc. La macchina incorpora 3 brevetti sui 22 trovati sul sito www.Espacenet.com in un'analisi fatta al 31 Agosto 2019. Due di questi tre brevetti

hanno valenza solo negli Stati Uniti, mentre l'altro ha valenza nei maggiori stati del mondo. La macchina è stata inventata dal fisico nucleare Ruggero Maria Santilli. Le sue ricerche sono iniziate nel 1998 quando Santilli era interessato agli archi elettrici sommersi per la produzione delle sue nuove specie magnecolari. Gli archi elettrici sommersi dentro liquidi fissi hanno una bassissima efficienza. Gli archi elettrici con elettrodi di carbonio sono molto efficienti nella separazione delle molecole d'acqua producendo un plasma di atomi di C, H ed O, per lo più ionizzati, in prossimità delle punte terminali degli elettrodi. Tuttavia, il passaggio dell'arco attraverso gli atomi di provoca la loro conversione in H₂O attraverso un'implosione, determinando così un'efficienza molto bassa. Una caratteristica principale dei reattori adronici Santilli è la loro alta efficienza con una produzione di energia che è un multiplo dell'energia elettrica utilizzata. Questa importante caratteristica è dovuta al fatto che la fonte primaria di energia dei reattori adronici non è l'energia elettrica dell'arco, ma la combustione del carbonio nel plasma. In fig.1 si vede che il liquido inquinante entra nel reattore e subisce un pre-trattamento che va ad eliminare tutto ciò che è di origine inorganica.

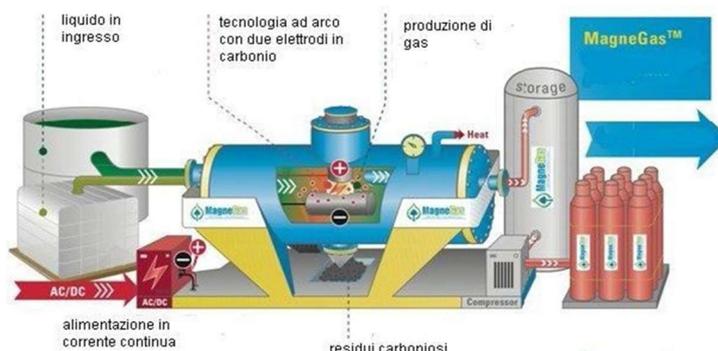


Fig.1 Macchina ad arco al Plasma MagneGas

Quindi, il flusso, sottopressione, viene pompato attraverso un arco elettrico sommerso ad alto amperaggio che sottopone il liquido a temperature elevatissime (circa 5.500 °C) e ad un'intensa luce ultravioletta che provocano la sterilizzazione completa e la carbonizzazione di tutte le sostanze in sospensione. Inoltre il liquido stesso viene attaccato a livello molecolare e tutte le catene, ad esempio di idrocarburi presenti, vengono demolite e ridotte ai costituenti atomici. Quello che si crea è un plasma liquido che ionizza potentemente gli atomi, i quali iniziano ad interagire tra loro non appena si allontanano dall'arco elettrico. Da questo marasma ne scaturisce il MagneGas, un gas molecolare in cui il legame principale fra i suoi atomi non è quello di valenza ma l'attrazione magnetica. Il gas creatosi all'uscita del PlasmaArcFlow inizia a salire dentro una torre in quanto più leggero dell'aria, separandosi dal liquido rimasto, e viene raccolto dentro serbatoi ad alta pressione per il futuro utilizzo come combustibile (diluente). La macchina può funzionare in modalità Total ed in modalità Linear, a seconda della composizione del liquido: nel primo caso, il liquido si trasforma completamente in gas e in un residuo carbonioso; nel secondo caso, il liquido si trasforma in parte in gas e in parte in liquido sterilizzato confluibile alla rete fognaria. Tutto il ciclo è corredato da sensori e strumentazione analitica che seguono ogni fase in tempo reale. Il materiale residuo è un buon fertilizzante se rispetta i limiti della norma. Il sistema è interamente ad emissione zero poiché tutti i prodotti sono eco-compatibili e sfruttabili economicamente.

3. Test macchina

Le prove da realizzare con i reflui citati nel primo paragrafo non sono state possibili per motivi burocratici e saranno effettuate nel corso del 2020. In questo paragrafo analizzo perciò le prove effettuate nel 2015 con fanghi urbani, industriali e oli esausti in diverse modalità di utilizzo. Le prove sono eseguite sia in Linear mode e sia in Total mode e i campioni trattati, sia in ingresso e sia in uscita, analizzati dal centro analisi di Benevento e confrontati con i valori del decreto ministeriale del 27 settembre 2010 n.281. Per testare il funzionamento della macchina con fanghi urbani, si è utilizzato il fango all'uscita della sedimentazione secondaria dell'impianto di depurazione acque reflue civili di Benevento. Le prove sono state eseguite in modalità Linear a 100 l/m e 130 l/m e in modalità Total. Quest'ultima modalità ha dato risultati insufficienti perché il refluo non si trasformava interamente in residuo carbonioso. Il refluo in uscita dalla modalità Linear era torbido e per questo motivo è stata aggiunta una centrifuga all'uscita del reattore. Per testare il funzionamento della macchina con fanghi industriali, le prove sono state effettuate in modalità Linear a 100 l/min e il fango è stato prelevato da una vasca industriale. In fig2 confronto i principali valori presenti nelle tabelle con i valori riportati dai decreti analizzati nella tesi.

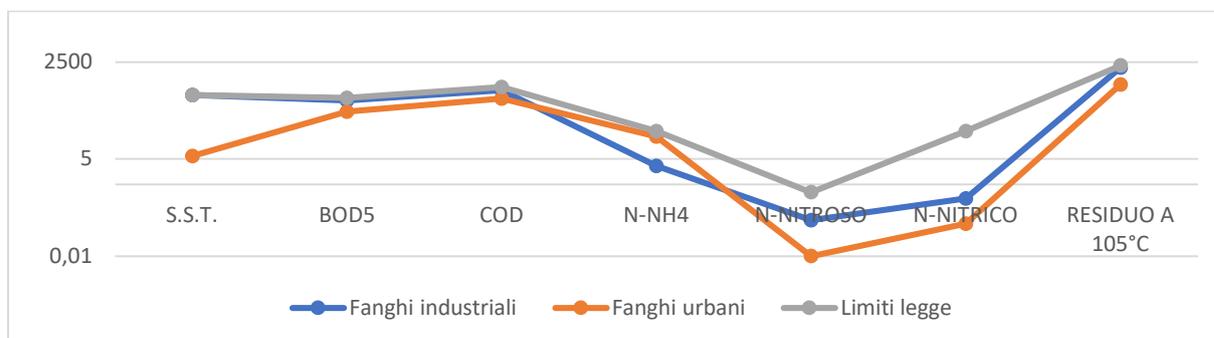


Fig2. Grafico dei principali valori dei reflui. (grafico in scala log10)

Per quanto riguarda i solidi, essi possono essere smaltiti per incenerimento o in discariche di rifiuti speciali. Poiché come analizzato presentano buoni contenuti di sostanza organica e non presentano limiti di sfornamento per i metalli pesanti, essi possono essere smaltiti mediante spandimento sul suolo agricolo o in impianti di compostaggio per il successivo utilizzo in agricoltura.

3.1 Test oli esausti

Le prove sono state effettuate in modalità Total con 300 kw di potenza mentre in modalità Linear non possono essere realizzate con questo tipo di liquido. Le analisi sono state eseguite sul campione di Magnegas in uscita dal reattore, mentre il residuo carbonioso in uscita è risultato troppo esiguo per essere analizzato. Come si nota dalla tab4 il gas è composto dalla maggior parte da idrogeno. Le caratteristiche del gas prodotto durante i test hanno evidenziato valori sempre simili.

Composizione		
Idrogeno	48,04	% molare
Ossigeno + Argon	0,44	% molare
Azoto	1,35	% molare
Metano	2,62	% molare
Ossido di carbonio	33,92	% molare
Anidride carbonica	7,25	% molare

Tab4. Analisi effettuate sul Magnegas prodotto con il reattore.

3.2 Gas magnegas

Il gas prodotto dalla macchina al plasma viene depositato in normali bombole e può essere usato nel taglio al plasma e come sostituto del metano in tutti gli impianti. Negli Stati Uniti, nei primi 3 trimestri del 2019, l'azienda produttrice di magnegas ha prodotto 600.000ft³ di gas ricavando 12 milioni di dollari. Tutto il gas ottenuto viene venduto per il taglio di metalli; ciò avviene perché i clienti apprezzano le sue qualità e perché è l'unico prodotto da taglio rinnovabile in uso. Questo prodotto può ridurre i costi totali di taglio fino al 75% grazie ai vantaggi combinati di velocità di taglio più elevate e riduzione di levigatura e lucidatura. Questi due vantaggi sono dovuti all'alta temperatura di fiamma, che arriva fino a 10.000° C contro i 5.000° C dell'acetilene leader del mercato mondiale. Il magnegas però può essere venduto solo negli Stati Uniti perché non ha certificazioni per la vendita in Europa e in Asia. In Turchia, a causa di numerosi incidenti dovuti all'acetilene, lo Stato sta pensando di vietarne la vendita e per questo motivo ad agosto 2019 ha dato mandato per l'acquisto di macchine per la produzione di magnegas per un corrispettivo di 165 milioni di dollari, 6 milioni a macchina.

3.3 Analisi SWOT

In tab5 sintetizzo l'analisi SWOT:

Punti di Forza	Punti di debolezza	Opportunità	Minacce
Prodotto eco combustibile MagneGas con minore potere inquinante ed elevato potere calorifero	Separazione fase solida/fase liquida per singola matrice	Ottimizzazione Energetica e Versatilità degli obiettivi (trattamento rifiuti liquidi, gas, mobilità ed idrogeno)	Deficit territoriale di cultura dell'innovazione
Tecnologia ad Emissioni zero	Durata limitata elettrodi	Elevata quantità di reflui da sterilizzare	Vuoti normativi per lo smaltimento reflui
Tecnologia con Impianti di dimensione ridotta rispetto ai competitors	Tss limitato al 2,02 % in modalità linear	Mercato del gas da taglio in evoluzione	Barriere all'ingresso burocratiche elevate
Tecnologia versatile ed adattabile ad un'ampia gamma di matrici		Prezzo smaltimento reflui elevato	Vietata vendita in Europa del gas per il taglio o la saldatura
Abbattimento del COD in un rifiuto liquido			
Alta redditività			

Tab5. Analisi effettuate sul Magnegas prodotto con il reattore.

In seguito elenco le possibili soluzioni progettuali:

1. La macchina al plasma può essere usata per la produzione di gas per il taglio attraverso lo smaltimento di oli esausti o industriali e per l'utilizzo di additivo per migliorare l'efficienza della combustione del carburante nelle auto.
2. La macchina al plasma può essere usata per lo smaltimento di fanghi urbani o industriali, inserendola subito dopo la fase di ispessimento del fango e quindi in sostituzione alle classiche fasi di stabilizzazione e disidratazione del fango.
3. La macchina al plasma può essere usata per la sterilizzazione di reflui altamente impattanti come quelli industriali, ospedalieri e percolati.

La prima soluzione in Europa e in Italia non è attuabile in quanto le leggi non lo consentono. Inoltre l'utilizzo del gas come additivo non è stato testato su strada ma sono solo stati fatti dei test in laboratorio.

Per quanto riguarda la seconda alternativa, nel 2016 è stato realizzato un protocollo di intenti per la creazione di un'azienda per lo smaltimento di fanghi; anche se i test hanno fornito buoni risultati, si sono rinvenuti problemi per le autorizzazioni di smaltimento.

Nel terzo caso la macchina risulta essere in grado di smaltire diverse tipologie di reflui e per questo motivo è stato ipotizzato di inserirla all'interno di un ciclo di sterilizzazione molto oneroso e allo stesso tempo in grado di produrre gas per un cogeneratore in grado di generare energia elettrica ed energia termica per le macchine all'interno del ciclo.

4. Ciclo di smaltimento

Nell'ultimo capitolo analizzo un possibile inserimento della macchina al plasma a valle di un processo di smaltimento non efficiente studiato dall'Enea. Il ciclo di smaltimento analizzato è quello della plastica, in virtù della forte richiesta e della crescente sensibilità per il suo smaltimento. In fig3 vengono evidenziate le macro attività della catena di smaltimento: si parte dallo stoccaggio della plastica e dalla sua trasformazione in CSS; successivamente si passa allo smaltimento attraverso un gassificatore ottenendo un syngas da purificare mediante uno scrubber. Il syngas prodotto può essere utilizzato in un cogeneratore per produrre energia elettrica ed energia termica, mentre le acque da scrubber prodotte dal procedimento di pulizia del syngas devono essere smaltite.



Fig3. Processo smaltimento plastica non riciclabile

L'obiettivo di questo miglioramento è ridurre o eliminare le criticità inserendo a valle del processo la macchina ad arco al plasma. Infatti la macchina produce buoni risultati lavorando con acque infette e inquinanti, rendendole sterilizzabili e confluibili nella rete fognaria o in acque superficiali a seconda del livello di metalli presenti nelle stesse. Inoltre in questo modo è possibile ottenere ulteriore gas da utilizzare nel cogeneratore per la produzione di energia elettrica. Con l'inserimento della macchina al plasma si può anche aggiungere valore al processo mediante la sterilizzazione di altri tipi di reflui. Nella normativa infatti questo procedimento non né vietato né autorizzato: per questo motivo l'Enea dopo ulteriori sperimentazioni potrebbe certificare il processo e la macchina e far presente al legislatore il vuoto normativo.

4.1 Costi

I costi calcolati sono stati ricavati attraverso un'analisi di mercato ipotizzando la macchina a pieno regime con una potenza di 300 kW e una portata di 15.500 l/h. La macchina in ingresso ha bisogno di una pompa per permettere al liquido di entrare ad una certa pressione e temperatura con una potenza di 45 kW. Il costo dell'energia elettrica secondo la media nazionale nel 2019 è 0,043€ al kWh; inoltre al prezzo va aggiunta una quota fissa pari al 35%. Utilizzando Rstudio, ho analizzato la serie storica del costo dell'energia elettrica e fatto una previsione. L'analisi ha fornito il valore medio, che è €47,41. Considero un 5% di errore, per questo motivo ci sarà un range di prezzo che va da 45,04€ a 49,78€.

Per il funzionamento della macchina occorrono due operai e un ingegnere chimico: il costo è stato calcolato in base al contratto dei metalmeccanici.

Il costo degli elettrodi è di 144 € e 102 € ed è legato all' acquisto di un solo lotto; per questo motivo si può ipotizzare che portando la macchina a pieno regime si renda necessario l'acquisto di un grande numero di elettrodi e un rifornimento continuo. Essendo il mercato degli elettrodi formato da poche aziende capaci di soddisfare un numero considerevole di elettrodi, ed essendo il bene molto importante, si ipotizza di consolidare una partnership con un operatore del settore ricavando uno sconto che va dal 15% al 30%.

Il tempo medio del consumo degli elettrodi durante i test effettuati è di 6 ore per i fanghi urbani e di 5,55 ore per quelli industriali ad una velocità di 100 l/m, invece ad una velocità di 130 l/m il tempo si abbassa di 15 minuti per quelli urbani e di 20 per quelli industriali. Ipotizzando un andamento lineare, il tempo di durata per 250 l/m è di 4,33 ore per i reflui urbani e di 3,47 per i reflui industriali. Il costo della durata oraria degli elettrodi è determinato dividendo il prezzo con i tempi trovati. Per quanto riguarda i costi di manutenzione, considero il tempo di cambio elettrodi che è di 15 minuti come un mancato ricavo e per questo motivo lo inserirò nei costi. Ho calcolato 15 minuti per ogni volta che gli elettrodi si esauriscono e moltiplicato il tempo finale per il ricavo al minuto della macchina, ottenendo parte dei costi di manutenzione. La macchina presenta dei filtri sia in ingresso che in uscita e delle vasche di miscelamento che portano il refluo alla macchina, per un costo annuale di 250.000 €. Nell'analisi dei costi ho inserito anche la quota di ammortamento calcolata sul prezzo di mercato al 2020 (che è di 6 milioni di dollari, ovvero 5.575.000€). Usando l'aliquota di mercato riportata nel D.M. del 31 dicembre 1988, (che si occupa dei coefficienti di ammortamento del costo dei beni materiali) alla voce "Impianti destinati al trattamento ed al depurazione delle acque, fumi nocivi", ovvero il 15%, alla voce "quota di ammortamento" indicherò la cifra di 836.250€. In tab6 sintetizzo tutti i costi trovati.

	Costo Min			Costo Max		
	Orari	Mensile	Annuale	Orari	Mensile	Annuale
Energia elettrica	23,04 €	6451 €	77421 €	25,10 €	7029 €	84348 €
Elettrodi	19,72€	5521€	66259€	29,88€	8366€	100397€
Manutenzione	130,60€	36569€	438837€	272,07€	76179€	914149€
Personale	45€	7785€	93430€	45€	7785€	93430€
Acqua distillata	17,30€	4844€	58128€	18,38€	5146€	61756€
Filtri	74,4€	20833€	250000€	74,4€	20833€	250000€
Ammortamento	248,88€	69687€	836250€	248,88€	69687€	836250€
Totale	558,94€	151690€	1820325€	713,71€	195025€	2340330€

Tab6. Costi totali per l'utilizzo della macchina al plasma.

4.3 Ricavi

La macchina al plasma ha una capacità di 15.500 l/h con un Tss del 2,02% lavorando in modalità Linear. Il refluo totale da sterilizzare deve essere composto dalle acque provenienti dallo scrubber e da rifiuti liquidi. Userò in questa analisi economica solo reflui derivanti da rifiuti ospedalieri e quelli da laboratorio; non inserirò il percolato perché ha un costo di smaltimento molto inferiore agli altri due rifiuti.

Le acque da scrubber sono 100 l/m con un Tss del 0,9%. In tab7 è riportato il calcolo della capacità della macchina. Conoscendo la capacità finale e le acque da scrubber, ho ricavato la disponibilità per i reflui con un Tss non superiore al 2,72%.

Tss	l/h	kg
0,9	6000	54

2,72	9500	259,1
2,02	15500	313,1

Tab7. Calcolo capacità della macchina e i relativi Tss.

I rifiuti liquidi non riescono a raggiungere un Tss così basso: infatti installando dei filtri all'ingresso della macchina è possibile raggiungere un Tss tra il 10% e il 12 %. Per questo motivo il refluo in ingresso dovrà essere diluito con acqua distillata che ha un Tss dello 0,01%. Conoscendo i Tss e la capacità totale, nella tab8 è calcolato la quantità di rifiuto con un Tss del 10%.

Min 10 %			Max 12%		
Tss	l/h	Kg	Tss	l/h	kg
2,72	9500	258,4	2,72	9500	258,4
0,01	6922	0,6	0,01	7353	0,7
10,0	2578	257,8	12,0	2147	257,7

Tab8. Calcolo quantità di refluo a seconda del suo Tss.

Data la tab8, la capacità della macchina di 15.500 litri è saturata con 6.000 litri di acque da scrubber e con una quantità che può variare tra i 2.147 litri e i 2.578 litri di rifiuti liquidi miscelati con acqua distillata.

Con i prezzi trovati nel primo capitolo calcolo il ricavo in l/h, inoltre suddivido la capacità della macchina tra reflui ospedalieri e reflui laboratorio secondo la percentuale quota di produzione in Campania.

	Tss 12%	Tss 10%	P1	P2	Totale12%	Totale10%
Acque da scrubber	6000	6000	0,2	0,2	1200	1200
Rifiuti Ospedalieri (66%)	1417	1701	0,38	0,38	538,46	646,38
Reflui da laboratorio (33%)	730	877	0,66	0,66	481,8	578,82
Acqua distillata	7353	6922	0,0025	0,0025	18,38	17,30

Tab9. Ricavo orario dei due possibili casi. (tss in l/h e prezzo in €/l)

L'acqua distillata nella tab9 verrà considerato nel bilancio finale come un costo.

In tab10 descrivo il ricavo totale mensile e annuale considerando 10 ore lavorative al giorno e 28 giorni lavorativi al mese.

	Tss 10%			Tss 12%		
	giornaliera(h)	mensile (gg)	annuale(mesi)	giornaliera (h)	mensile(gg)	annuale (mesi)
Rifiuti Ospedalieri 80%	6463,8 €	180986 €	2171832 €	5384,6 €	150768 €	1809225 €
Reflui da laboratorio 20%	5788,2 €	162069 €	1944835 €	4818 €	134904 €	1618848 €
Totale	12252 €	343055 €	4116667 €	10202,60 €	285672 €	3428073 €
Acque da scrubber	12000 €	336000 €	4032000€	12000 €	336000 €	4032000€

Tab.10 Ricavo totale.

4.4. Analisi

Il ricavo annuale totale della sterilizzazione dei reflui varia da un minimo di 3.428.073 € a un massimo di 4.116.667 €; questo range dipende dalla percentuale di Tss in ingresso dei reflui. I costi sono dipendenti dalle caratteristiche del refluo e non dal suo Tss perché alla fine nella macchina il Tss finale è del 2,02%. Per questo motivo decido di riportare in fig4 i quattro casi possibili. L'utile rappresentato da una retta va da 1.087.743€ a 2.296.342€. Dopo aver trovato l'utile operativo, ho calcolato il ROI che va dal 18% al 38,27%. Con il calcolo del Break Even Point, cerco la quantità espressa in volumi di produzione necessaria a coprire i costi precedentemente sostenuti. In tab11, divido tutti i costi in variabili e fissi.

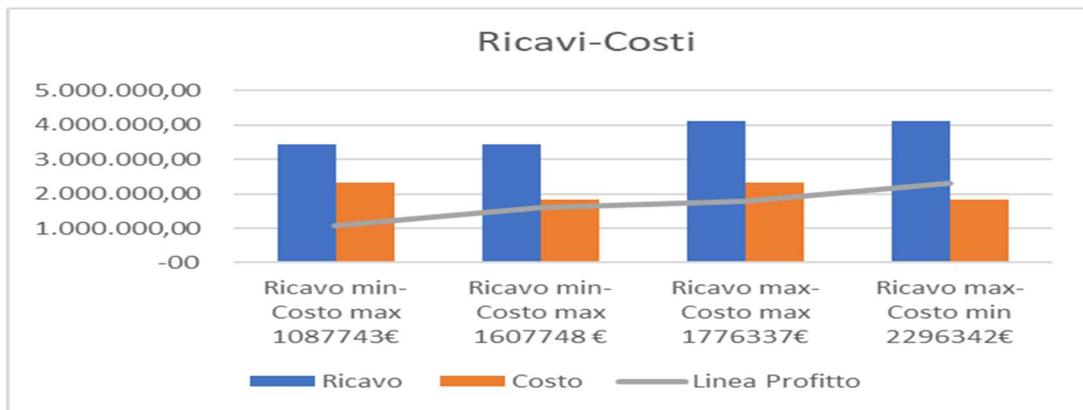


Fig4. Linea del profitto

Il prezzo di vendita del refluo è dato dalla seguente formula:

$$\text{Prezzo refluo} = \frac{(Q_{\text{refluo osp}} \times \text{prezzo refluo osp}) + (Q_{\text{refluo lab}} \times \text{prezzo refluo lab})}{Q_{\text{totale}}} = \text{€ } 0,48$$

La quantità di refluo da sterilizzare è tra 7.213.920 l e 8.662.080 l in un anno.

	Costo min		Costo max	
	Costo variabile	Costo fisso	Costo variabile	Costo fisso
Elettrodi	66259 €		100397 €	
Manutenzione Elet	438837 €		914149 €	
Personale		94430 €		94430 €
Acqua distillata	58128 €		61756 €	
Filtri + impianto	50000 €	200000 €		
Energia elettrica	69678,9 €	7742,1 €	75913,2	8434,8 €
Ammortamento		836250 €		836250 €
TOTALE	682902,9 €	1137422,1 €	1152215,2 €	1138114,8 €
Cvu	0,094€		0,133€	

Tab11. Costi variabili e fissi considerando i due possibili casi.

Essendo il $Q_{bep} = \frac{CF}{(Pre_{\text{refluo}} - Cvu)}$, graficamente vado a rappresentare i due possibili casi.

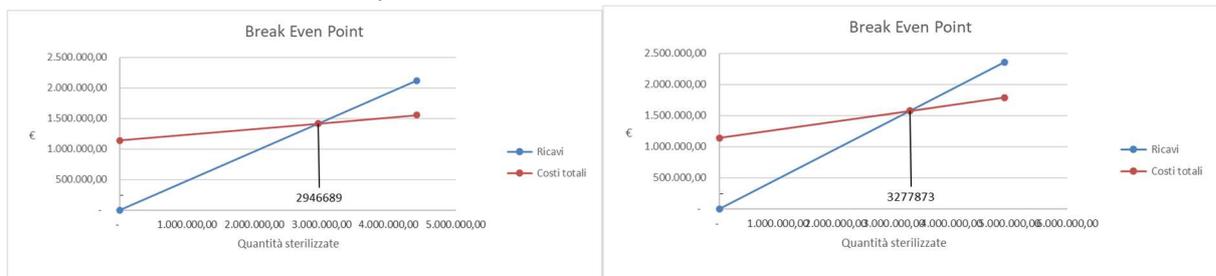


Fig5. Break Even Point considerando il costo minimo e il costo massimo.

La quantità di pareggio, come riportato dai grafici, ha un range che va da 2.946.689 l a 3.277.873 l. Dalle analisi fatte, è evidente che il nuovo ciclo di smaltimento con l'inserimento della macchina ad arco al plasma porta elevati vantaggi e anche un profitto annuale. Infatti, oltre ad avere un vantaggio economico per lo smaltimento di reflui ospedalieri e di laboratorio, la macchina permette un risparmio annuo di 4 milioni di euro per lo smaltimento di acque da scrubber. Inoltre la macchina produce tra i 1.500 scf e i 1.800 scf, che, come visto nei paragrafi precedenti, sono equivalenti a 42/50 m³/h di gas Magnegas, 141.120/168.000 m³ annuali. La quantità di gas prodotta dalla macchina non è sufficiente per soddisfare un impianto di cogenerazione per la produzione di energia elettrica ed energia termica; invece, tenendo conto del processo di smaltimento preso precedentemente in considerazione (che produceva 1.000 m³/h di syngas), con l'inserimento della macchina il processo avrà in media 150.000

m³/h di gas in più e quindi un risparmio ulteriore di energia termica ed energia elettrica. Attraverso l'energia termica è possibile riscaldare il refluo in entrata perché, aumentando la temperatura, la viscosità aumenta ed aumenta la capacità della macchina. Con questo aumento si deve testare se cambia efficacia di sterilizzazione.

Precedentemente ho scartato l'ipotesi di poter utilizzare il percolato perché il prezzo di smaltimento era molto inferiore agli altri reflui. In tab12 ipotizzo di smaltire il percolato e calcolo il ricavo secondo i Tss possibili.

Prezzo	Tss	l/h di percolato	Ricavo orario	Ricavo annuale	Costo minimo	Utile/Perdita
0,036	2,02	15500	558 €	1874880 €	1820325€	54555 €
0,036	3,02	10500	378 €	1270080 €	1820325€	-550245 €
0,036	5,02	6250	225 €	756000 €	1820325€	-1064325 €
0,036	8,02	4000	144 €	483840 €	1820325€	-1336485 €
0,036	12	2600	93,6 €	314496 €	1820325€	-1505829 €

Tab12. Quantità di percolato secondo il contenuto di solido sedimentato e il corrispettivo ricavo.

Ipotizzando che i costi siano uguali sia per il percolato sia per i reflui precedentemente considerati, si ha un utile netto di esercizio solo nel caso in cui il Tss è pari a 2,02.

5. Conclusione

I risultati derivanti dalla sperimentazione della macchina ad arco al plasma mettono in evidenza il suo possibile utilizzo nella sterilizzazione di reflui altamente impattanti, poiché il prodotto in uscita presenta livelli adeguati alle nuove normative sullo smaltimento dei fanghi prodotti dagli impianti di depurazione, con particolare riferimento al D.lgs. 13 gennaio 2003, n.36, e al Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio 27.9.2010 "Criteri di assimilabilità dei rifiuti in discarica".

Anche se il prodotto in uscita dalla macchina rispetta i decreti succitati, rimane il problema di un vuoto normativo perché le norme non menzionano questo nuovo metodo di sterilizzazione e non consentono la miscelazione di reflui per la loro sterilizzazione.

Il miglior utilizzo della macchina ad arco al plasma, sia dal punto di vista ecologico sia da quello economico, è la sterilizzazione di reflui ospedalieri e da laboratorio, perché hanno un prezzo di mercato più elevato degli altri reflui e perché presentano un Tss non eccessivo. Inoltre questa configurazione presenta un buon ritorno del capitale investito, infatti il ROI va dal 18% al 38%.

Per quanto riguarda il trattamento del percolato, come visto nell'analisi economica, questo processo anche se dà ottimi risultati per lo smaltimento, non presenta redditività perché il prezzo di smaltimento è 10 volte inferiore a quello dei reflui ospedalieri. Attualmente la macchina è indicata per la produzione di gas ma, per averne un quantitativo rilevante, deve essere usata solo in modalità Total e solo con oli. Inoltre in Europa la vendita e il trasporto del gas "Magnegas", pur presentando delle ottime qualità di taglio, sono vietati.