

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
- Sede di Forlì -**

**CORSO DI LAUREA
IN INGEGNERIA MECCANICA
Classe: L-9**

**ELABORATO FINALE DI LAUREA
IN IMPIANTI INDUSTRIALI**

**ANALISI DI UN IMPIANTO INDUSTRIALE PER IL TRATTAMENTO DEI
RIFIUTI DI APPARECCHIATURE ELETTRICHE ED ELETTRONICHE
(RAEE)**

**CANDIDATO
Marco Sterza**

**RELATORE
Prof. Ing. Augusto Bianchini**

**Anno Accademico 2012/2013
Sessione II^a**

INDICE

1. I RAEE	4
1.1. Introduzione	4
1.2. Definizione e classificazione	6
1.3. I RAEE e l'ambiente	7
1.4. Composizione	9
1.5. Sistema di riciclo dei RAEE in Italia	14
2. Analisi dell'impianto aziendale	16
2.1. Descrizione dell'azienda	16
2.2. Descrizione dell'impianto	17
2.3. Macchinari	24
2.3.1. Trituratore	24
2.3.2. Frantoio a martelli	26
2.3.3. Vaglio rotante	29
2.3.4. Separatore a correnti indotte	31
2.4. Valutazione del margine operativo	38
2.5. Prestazioni e ottimizzazione	44
3. Analisi di possibili sviluppi dell'impianto	46
3.1. Cosa offre il mercato	46
3.2. Descrizione del nuovo macchinario	50
3.3. Studio di fattibilità	53
3.3.1. Servizi di impianto necessari	53
3.3.2. Ciclo produttivo	55
3.3.3. Calcolo convenienza economica	56
3.4. Conclusioni	61
BIBLIOGRAFIA	62
SITOGRAFIA	62

Ringraziamenti:

Ringrazio Sterza Gianbattista e l' Ing. Galliano Guerra della Sider Rottami Adriatica che mi hanno gentilmente aiutato e fornito le informazioni necessarie per la stesura di questa tesi.

I RAEE

(rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche)

Introduzione:

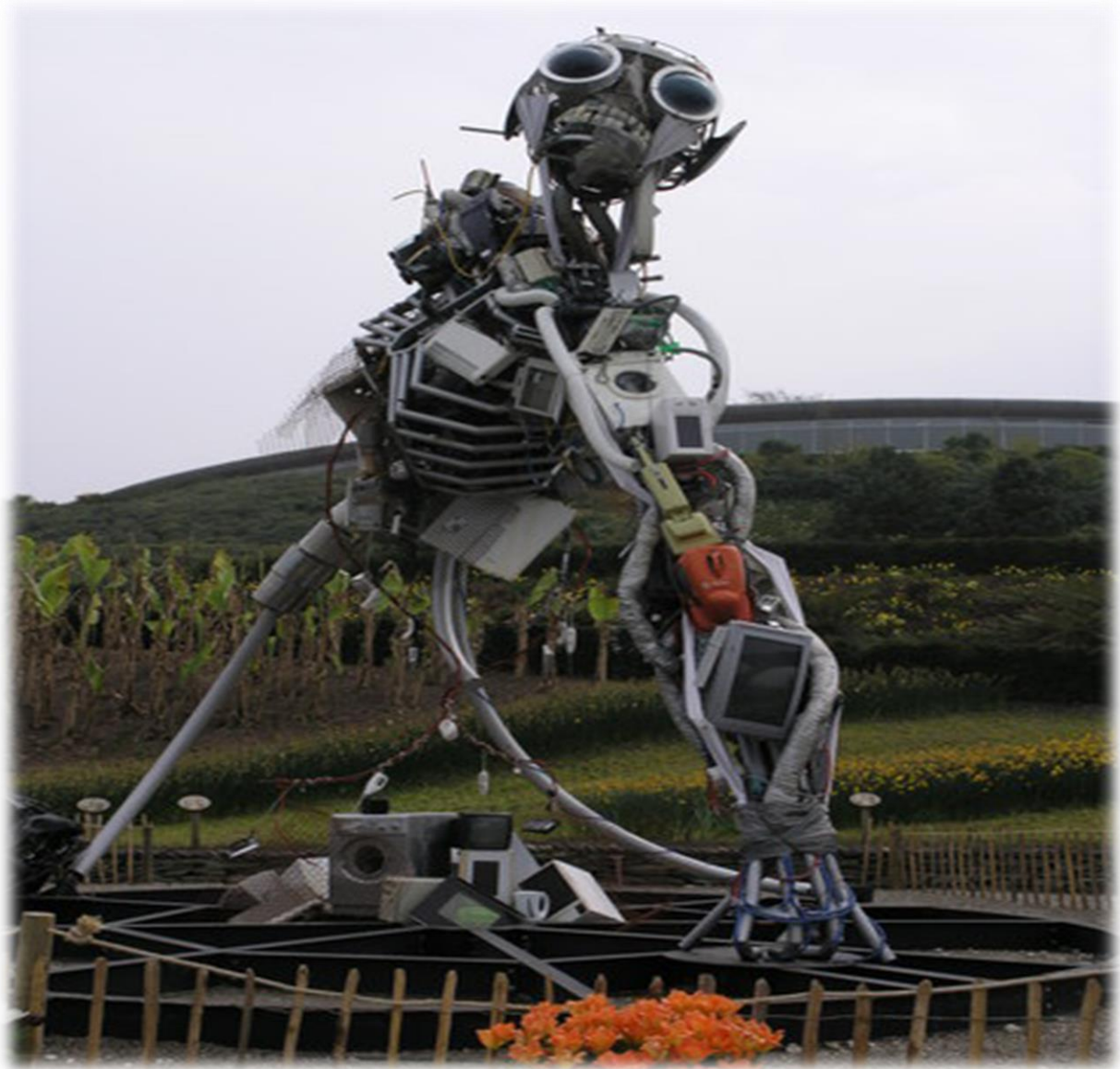


Figura 1: WEEE man (WEEE: waste of electric and electronic equipment), è una grossa scultura robotica alta 7 metri del peso di 3.3 tonnellate costruita con rifiuti WEEE, è stata realizzata per sensibilizzare l'opinione pubblica sul problema dei rifiuti, dandone una rappresentazione visiva, infatti 3.3 tonnellate sono la quantità media di WEEE prodotta da ognuno di noi nel corso della vita. La scultura è attualmente situata nella sede dell' Eden Project a Cornwall, in Gran Bretagna.

Dalla scoperta delle leggi dell'elettromagnetismo nell'ottocento sono susseguite una lunga serie di innovazioni che hanno profondamente modificato il nostro stile di vita, basti pensare alla lampadina, agli elettrodomestici, alla televisione e in tempi più recenti al grande sviluppo dell'informatica e delle telecomunicazioni. Nel contempo lo sviluppo dell'industria con un maggiore accentramento dei mezzi di produzione e l'utilizzo di tecniche sempre più efficienti ha portato alla produzione di notevoli quantità di prodotto a prezzi sempre più accessibili. Si è avuta quindi un'enorme diffusione di apparecchi elettrici e elettronici a prezzi sempre minori, che sono diventati un prodotto di massa. Inoltre va sottolineato che il mercato di questi oggetti è molto dinamico, cioè con il progredire della tecnologia e delle tecniche di produzione si hanno continuamente nuovi modelli che invadono il mercato. Dunque queste apparecchiature sono considerate rifiuto non solo quando si rompono ma anche quando non sono più al passo con la tecnologia o il design del momento. Questo fenomeno si verifica a livello del consumatore, ma anche a quello del produttore che trasforma in rifiuto le rimanenze di prodotto vecchio mai utilizzato per far posto nel mercato al modello nuovo. E' spesso rilevante anche la quantità di oggetti scartati durante il ciclo produttivo a seguito dei controlli di qualità .

Definizione e classificazione

Secondo la *disposizione nazionale 151/2005* si definiscono apparecchiature elettriche ed elettroniche:

“apparecchiature che dipendono, per un corretto funzionamento, da correnti elettriche o da campi elettromagnetici e le apparecchiature di generazione, di trasferimento e di misura di questi campi e correnti, progettate per essere usate con una tensione non superiore a 1000 volt per la corrente alternata e a 1500 volt per la corrente continua”

La Direttiva WEEE 2002/96/CE dell'Unione Europea nell'Allegato 1A suddivide le apparecchiature elettriche ed elettroniche in 10 categorie:

1. **Grandi elettrodomestici** (frigoriferi, lavatrici, lavastoviglie, asciugatrici, lavastoviglie, apparecchi di cottura, stufe elettriche, piastre riscaldanti elettriche, forni a microonde, etc.).
2. **Piccoli elettrodomestici** (aspirapolveri, macchine per cucire, ferri da stiro, scope meccaniche, tostapane, sveglie, orologi da polso o da tasca e apparecchiature per misurare, indicare e registrare il tempo, etc.).

3. **Apparecchiature informatiche e per telecomunicazioni** (stampanti, computer, cellulari, personal computer, fax, telefoni, mainframe, calcolatrici tascabili e da tavolo, etc.).
4. **Apparecchiature di consumo** (televisioni, radio, videocamere, videoregistratori, amplificatori, strumenti musicali, etc.).
5. **Apparecchiature di illuminazione**(tubi fluorescenti, lampadari e lampade).
6. **Strumenti elettrici ed elettronici** (apparecchiature per tornire, fresare, carteggiare, smerigliare, segare, tagliare, tranciare, trapanare, perforare, punzonare, piegare, curvare, saldare, brasare o per procedimenti analoghi su legno, metallo o altri materiali, ad eccezione degli utensili industriali fissi di grandi dimensioni).
7. **Giocattoli e apparecchiature per lo sport e per il tempo libero** (console di videogiochi portatili, videogiochi, apparecchiature sportive con componenti elettrici o elettronici).
8. **Dispositivi medicali** (apparecchi di radioterapia, cardiologia, dialisi, ventilatori polmonari, medicina nucleare, apparecchiature di laboratorio per diagnosi in vitro, analizzatori, congelatori, ed altri apparecchi per depistare, prevenire, monitorare, curare e alleviare malattie, ferite o disabilità, ad eccezione di tutti i prodotti impiantati e infettati).
9. **Strumenti di monitoraggio e di controllo** (rilevatori di fumo, termostati, bilance elettriche, apparecchi di misurazione, pesatura, regolazione, monitoraggio o controllo ad uso domestico o di laboratorio).
10. **Distributori automatici** (tutti i distributori automatici di qualsiasi tipo di prodotto).

In Italia per facilitare la raccolta dei RAEE domestici, l'allegato 1 del Dm 185/2007 ha accorpato le 10 categorie in 5 distinti gruppi:

R1: Grande bianco freddo, come apparecchi per la refrigerazione e la climatizzazione.

R2: Grande bianco non freddo, come apparecchi per la cottura, lavatrici, lavastoviglie.

R3: Tv e monitor.

R4: piccoli elettrodomestici, elettronica di consumo, attrezzature informatiche , apparecchi di illuminazione, giocattoli.

R5: sorgenti luminose.

I RAEE e l'ambiente

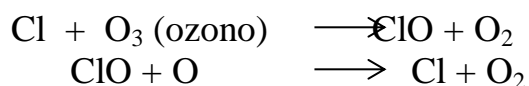
Il problema principale connesso ai RAEE è relativo all'elevato contenuto di sostanze e componenti pericolosi che li costituiscono e alla mancanza di una corretta gestione della dismissione a fine della vita utile. Molti rifiuti infatti finiscono in discarica o in inceneritori senza alcun trattamento di bonifica.

La messa in discarica provoca un grave impatto ambientale principalmente per due motivi:

- inadeguatezza di molte delle discariche e mancanza di un efficace controllo;
- rilascio progressivo delle sostanze pericolose contenute nei RAEE.

Le sostanze contenute nei RAEE pericolose per l'ambiente e per l'uomo sono:

- **Cloro-fluoro-carburi:** sono stati utilizzati come fluidi frigoriferi fino a che ne è stata appurata la notevole pericolosità per l'ambiente, in particolari contribuiscono al cosiddetto effetto serra, in quanto distruggono lo strato di ozono presente nella nostra atmosfera. Il meccanismo di reazione è di questo tipo :



Viene distrutto l'ozono e rimane un atomo di cloro che può riiniziare la reazione, si tratta infatti di una reazione a catena.

- **Piombo:** è utilizzato nelle batterie, nei tubi catodici e per saldare circuiti. Il piombo è dannoso per l'uomo se ingerito o inalato, può causare danni al sistema nervoso ed endocrino. Lo smaltimento in discarica è preoccupante per la possibilità di contaminazione delle risorse di acqua potabile.
- **Cadmio:** è presente nelle schede elettroniche, nei chip e nei rilevatori a infrarossi. Risulta dannoso per l'uomo se inalato o ingerito e provoca soprattutto danni al fegato.

- **Mercurio:** si trova nei sensori, termostati, switch e batterie. Il mercurio è tossico se inalato ingerito o posto a contatto con la pelle. Se sparso nell'acqua si trasforma in mercurio metilato nei sedimenti del fondo, risultando più tossico e facilmente assorbibile dai pesci.
- **Cromo esavalente:** viene usato per proteggere i componenti in acciaio dalla corrosione (cromature). Il cromo esavalente causa forti reazioni allergiche come la bronchite asmatica. Dunque risulta pericoloso se smaltito in discariche inadeguate che permettono la contaminazione del terreno circostante o se viene incenerito, in quanto il cromo esavalente può diffondersi nell'aria.
- **Ritardanti di fiamma bromurati:** sono presenti nei prodotti elettronici in quanto costituiscono una barriera protettiva contro l'inflammabilità, vengono utilizzati in circuiti stampati, componenti come connettori o similari, rivestimenti di plastica e dei cavi elettrici.
- **PCB (policlorobifenili):** sono presenti nei condensatori prodotti prima degli anni 80, infatti dopo aver appurato la sua tossicità ne è stato vietato l'utilizzo. Il PCB causa reazioni allergiche e danni al fegato.

Composizione

Nei RAEE ,oltre alcune sostanze pericolose, vi sono materiali di valore che possono essere utilmente riutilizzati come materie prime seconde. Ultimamente si sta diffondendo il recupero delle minime quantità di metalli preziosi presenti nei componenti elettronici dato che il valore di questi ultimi ha subito una rapida impennata negli ultimi anni.

Di seguito sono tabulati dei valori di composizione media percentuale dei RAEE divisi per categorie di recupero.

R1

- Frigoriferi e congelatori:

Materiali	% in peso
Acciaio	60
Alluminio	3
Rame/ottone	3
PVC	1
plastiche	13
Poliuretano	10
Vetro	1
Vernice	<1
Olio	1
CFC	<1
Altro	7

Origine: linee guida ANPA (associazione nazionale per la protezione dell'ambiente)

- Condizionatori:

Componenti	Materiali	% in peso
Compressori	Acciaio +rame	37
Olio	Olio idraulico	1
Freon	R22/R134a	1
Sistema di ventilazione	Alluminio	10
cavetteria	Fili di rame ricoperti	1
Tubazioni interne	rame	<1
Condensatori	Al+carta+olio +eventuale PCB	<1
Radiatori	Al+rame	15
Struttura portante	acciaio	28
Convogliatori + coibentazione	plastica	5
Strutture esterne	alluminio	<1

Origine: linee guida ANPA (associazione nazionale per la protezione dell'ambiente)

R2

- Lavatrici:

Materiali	% in peso
Acciaio	7
Acciaio zincato	28
Ghisa	11
Alluminio	3
Rame	1
Plastica	5
Gomma	3
Vetro	2
Legno e plastica	4
calcestruzzo	32
Altro	4

Origine: linee guida ANPA (associazione nazionale per la protezione dell'ambiente)

- Lavastoviglie

Materiali	% in peso
Acciaio	28
Acciaio zincato	17
Acciaio inox	17
Isolanti	12
Rame	2
Plastica	12
Gomma	2
Legno e plastica	6
Vetro	2
Altro	4

Origine: linee guida ANPA (associazione nazionale per la protezione dell'ambiente)

R3

- Televisori e monitor:

Materiali	% in peso
Acciaio	8
Alluminio	1
Rame	4
Plastiche	16
Vetro	65
Assemblaggi elettronici	3
Altro	3

Origine: linee guida ANPA (associazione nazionale per la protezione dell'ambiente)

R4

- Piccoli elettrodomestici

Materiali	% in peso
Acciaio	39
Alluminio	9.3
Rame	7
piombo	0.57
Cadmio	0.0068
Mercurio	0.000018
Oro	0.00000061
Argento	0.000007
Palladio	0.00000024
Plastiche	40
Plastiche bromurate	0.75
Vetro	0.16
Altri	6.9

Origine: Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (Empa).

- Elettronica di consumo

Materiali	% in peso
Acciaio	36
Alluminio	5
Rame	4
Piombo	0.29
Cadmio	0.018
Mercurio	0.00007
Oro	0.00024
Argento	0.0012
Palladio	0.00006
Indio	0.0005
Plastiche	12
Plastiche bromurate	18
Vetro piombato	19.3
Altri	5.7

Origine: Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (Empa).

R5

- Apparecchi di illuminazione:

Materiali	% in peso
Alluminio	14
Rame	0.22
Mercurio	0.02
Indio	0.0005
Plastiche bromurate	3.7
Vetro	77
Altri	5

Origine: linee guida ANPA (associazione nazionale per la protezione dell'ambiente)

Sistema di riciclo dei RAEE in Italia



Questo diagramma descrive il ciclo di vita dei RAEE, dalla loro nascita nelle aziende produttrici fino agli impianti di trattamento che trasformano il rifiuto in nuove materie prime. Gli attori presenti nella filiera dei RAEE sono:

- **produttori:** aderiscono a un sistema collettivo di gestione dei RAEE
- **consumatori:** conferiscono i RAEE ai centri di raccolta o ai distributori
- **distributori:** raccolgono i RAEE conferiti dai consumatori e li trasportano a un centro di raccolta o luogo di raggruppamento
- **centri di raccolta comunali:** raccolgono i RAEE conferiti dai cittadini e/o distributori, li suddividono nei cinque raggruppamenti e li consegnano ai sistemi collettivi.
- **sistemi collettivi :** effettuano il ritiro in tutti i centri di raccolta e luoghi di raggruppamento assegnati dal Centro di raccolta comunale RAEE. Conferiscono i RAEE esclusivamente agli impianti di trattamento accreditati

dal Centro di raccolta comunale RAEE. Comunicano mensilmente al Centro di raccolta comunale i quantitativi di RAEE ritirati.

- **centro di coordinamento RAEE:** garantisce omogenee condizioni operative tra i sistemi collettivi e uniformi livelli di servizio a tutti i centri di raccolta/luoghi di raggruppamento iscritti al sistema. Assegna annualmente i centri di raccolta/luoghi di raggruppamento ai sistemi collettivi, garantendo il rispetto delle quote di mercato. Monitora i quantitativi di RAEE raccolti dai sistemi collettivi. Accredita gli impianti di trattamento.
- **impianti di trattamento:** effettuano il trattamento dei RAEE conferiti dai sistemi collettivi in conformità con i requisiti stabiliti nell'accordo tra le associazioni degli impianti di trattamento RAEE e il Centro di raccolta comunale RAEE.

Quantità:

I target di raccolta imposti dalla nuova direttiva RAEE 2012/19/UE sono :

Anno	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Target	4kg/abitante (22 % immesso sul mercato) oppure la media kg/abitante raccolti nei tre anni precedenti (il maggiore dei due)		45 % immesso sul mercato(media dei tre anni precedenti)			65 % immesso sul mercato oppure 85 % RAEE generati			

La quantità di AEE (apparecchiature elettriche ed elettroniche) immessi sul mercato sono 18.3 kg/abitante, invece la quantità che si trasforma effettivamente in RAEE generati è 16.3 kg/abitante.

Analisi dell'impianto aziendale

DESCRIZIONE DELL'AZIENDA

Sider Rottami Adriatica



Fonte: www.confindustria.pu.it

Sider Rottami Adriatica Spa è una società leader nella lavorazione e nel commercio dei rottami fondata nel 1975. L'azienda è divisa in due sedi :

- A Pesaro è presente un'area di stoccaggio di rottami e metalli e lavorazione di oltre 20.000 mq.
- A Jesi è presente con un moderno piazzale dotato di tecnologie e soluzioni all'avanguardia per il trattamento di rottami speciali.

Il personale dell' azienda è composto da 21 dipendenti: 12 operai, 3 addetti alla parte commerciale e 6 si occupano dell'amministrazione.

La quasi quarantennale esperienza nel settore permette alla Società di avere una capillare rete di raccolta di metalli ferrosi (ferro, ghisa, acciaio magnetico e non magnetico) e non ferrosi (rame, alluminio, piombo, stagno, ottone) che provengono dagli scarti industriali, dalla raccolta da parte di intermediari del settore e dalle

aziende che si occupano dei servizi di pubblico interesse. Sider Rottami raccoglie anche pile e accumulatori.

Oltre a fornire servizi di riciclaggio di rifiuti e rottami, provvede alla distruzione di attrezzature o componenti obsolete, salvaguardando la proprietà intellettuale.

Per quanto riguarda i RAEE, l'azienda è autorizzata al trattamento di R2 e R4.

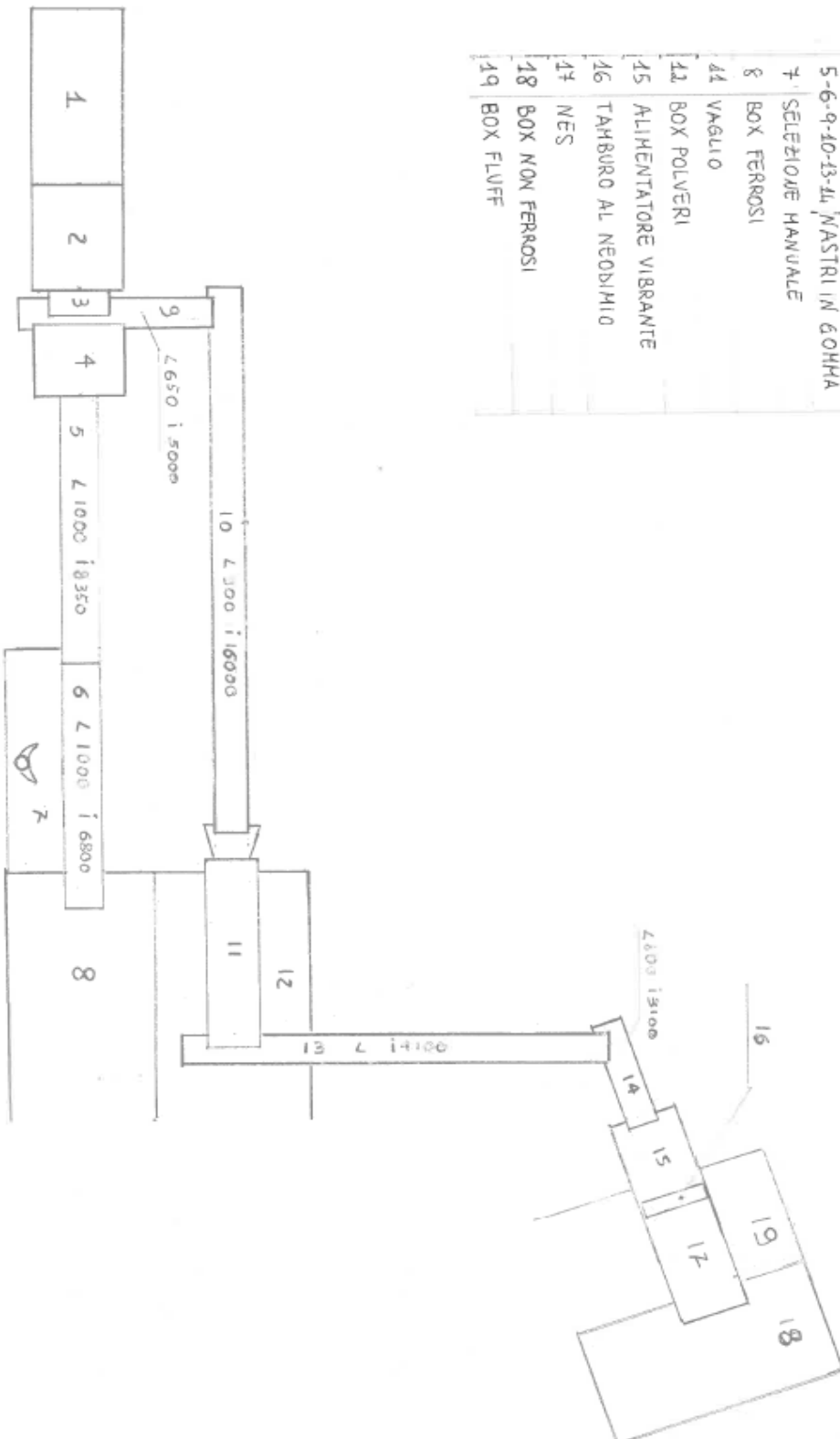
L'impianto utilizzato si trova nella sede di Pesaro, sarà descritto nel capitolo seguente.

Descrizione dell'impianto

(le foto in questo capitolo sono tutte state scattate da me nella sede di Pesaro)



LEGENDA	
1	MASTRO DI ALIMENTAZIONE
2	MULINO
3	ALIMENTATORE VIBRANTE
4	ELETTROMAGNETE
5-6-9-10-13-14	MASTRI IN GHISA
7	SELEZIONE MANUALE
8	BOX FERROSI
11	VAGLIO
12	BOX POLVERI
15	ALIMENTATORE VIBRANTE
16	TAMBURO AL NIOBIO
17	NES
18	BOX NON FERROSI
19	BOX FLUFF



Schema del lay-out dell'impianto

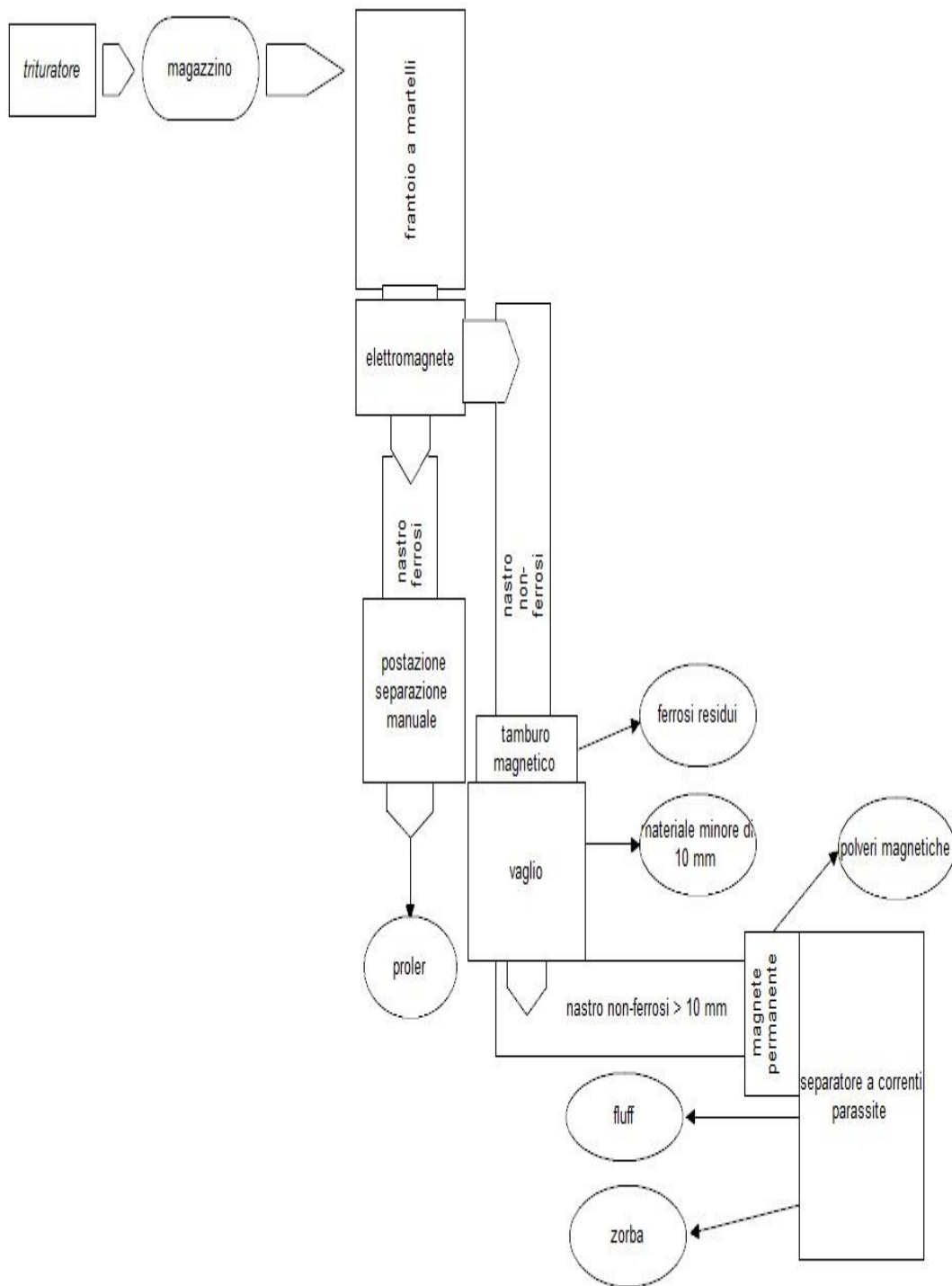


Diagramma di flusso del ciclo produttivo

Il ciclo di trattamento dei RAEE in azienda comincia dalle aree di stoccaggio dei rifiuti da cui vengono prelevati tramite caricatori industriali muniti di polipo per essere portati in aree di smontaggio manuale di componenti pericolosi (es. condensatori).



Vengono poi inseriti nel frantumatore che esegue una prima riduzione di volume.



Dopodiché il semilavorato viene inserito nel frantoio a martelli, in questa fase il materiale viene ulteriormente macinato da martelli rotanti per poi cadere su delle griglie tarate che consentono il passaggio a pezzature massime di 100 mm. A questo punto il materiale cade su un nastro trasportatore per poi incontrare subito un elettromagnete rotante per la separazione del materiale ferroso che viene attratto dal tamburo che lo deposita su un altro nastro trasportatore inclinato verso l'alto.



Il materiale non ferroso ricade, senza essere attratto dall'elettromagnete, sul nastro sottostante e in seguito a una curva a 90 gradi prosegue su un nastro inclinato parallelo all'altro.



A questo punto abbiamo le due linee di lavorazione (ferrosi e non ferrosi) che si sviluppano a una quota sopraelevata per far posto a dei box di accumulo dove precipita il materiale trattato a seguito delle varie lavorazioni. I materiali ferrosi

attraversano solo una stazione di separazione manuale, nella quale l'operatore seleziona i pezzi che contengono un quantitativo di rame rilevante che ha molto più valore del semplice materiale ferroso, come per esempio i motori elettrici che posseggono lo statore di rame, ma il rotore di acciaio dunque se i materiali rimangono collegati anche dopo il processo di triturazione vengono attratti dall'elettromagnete.



La linea dei materiali non - ferrosi prosegue su un nastro, che nel rullo di testa possiede un magnete permanente, dove il materiale ferroso residuo rimane attaccato al nastro che curva attorno al tamburo, per poi cadere in un tubo che lo porta in un' area di accumulo a terra. Il materiale non-ferroso invece cade nel vaglio, un macchinario che ruotando sfrutta la forza centrifuga per separare, attraverso delle maglie metalliche calibrate, fino a tre pezzature di materiale, anche se attualmente viene utilizzato solo per eliminare le polveri destinate allo smaltimento in discarica.



A questo punto il materiale non ferroso tramite un nastro trasportatore viene portato a un magnete permanente che elimina tutti i residui di materiale ferroso per poi arrivare al separatore a correnti parassite che, sfruttando forze di repulsione elettromagnetiche, separa il materiale metallico dal materiale inerte (plastiche, gomma etc.)



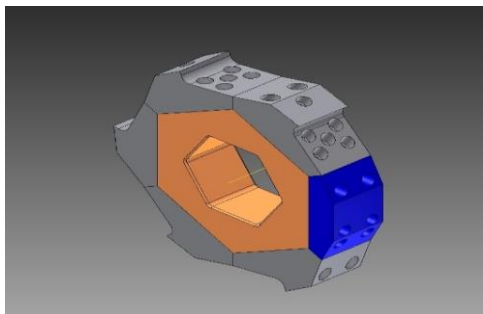
Macchinari

Trituratore:

Il trituratore presente in azienda è prodotto dalla Forrec Srl e ha la funzione di effettuare una prima riduzione dimensionale del rifiuto. E' composto da due alberi controrotanti mossi da 4 motori idraulici, due per lato (*foto 11*), alimentati da altrettante pompe alternative a pistoncini. I due alberi girano a basse velocità, circa 2-4 rpm (revolutions per minute) in direzioni opposte in modo da "tirare" negli spazi fra i due alberi il materiale da lavorare.



L'azione di triturazione è affidata a dei dischi calettati sull'albero ai quali sono imbullonate delle lame che tranciano il materiale. In questa macchina il carico del materiale da lavorare avviene dall'alto utilizzando dei caricatori industriali muniti di polipo. Dopo essere passato nella macchina il materiale cade su uno scivolo che ne permette l'accumulo nella zona antistante la macchina dove viene poi prelevato dagli stessi caricatori per proseguire alla successiva lavorazione.



Origine: www.forrec.it



Caratteristiche tecniche:

Potenza: $4 \times 90 = 360$ [Kw]

Dimensioni d'ingombro: 7000 x 3500 mm H=5000 mm

Dimensioni gruppo di taglio: 1500 x 2000 mm

Potenzialità produttiva:

10-20 [tonnellate/ora]

La potenzialità produttiva dipende fortemente dalla forma e ingombro del materiale in ingresso (densità apparente) e dalla capacità dell'operatore addetto al carico del materiale

Manutenzione:

Gli oneri di manutenzione legati al funzionamento di questa macchina sono legati principalmente alla sostituzione periodica (ogni 1500 ore) delle lame che hanno un costo molto elevato essendo costruite in speciali acciai alto-legati per permettere la triturazione di materiale con un carico di rottura fino a 490 MPa. La macchina è dotata di 13 dischi ognuno dei quali possiede 5 lame, la spesa complessiva per la sostituzione, compresa la manodopera specializzata è di circa 35000 euro, dunque il costo della manutenzione per ogni ora di funzionamento è $35000 / 1500 = 23.33$ euro.

Il macchinario è dotato di impianti di lubrificazione automatica dunque il resto della manutenzione ordinaria si riduce a una semplice pulizia periodica e controllo del livello dei fluidi .

Materiale in uscita:

Pezzature di circa 200 mm x 700 mm

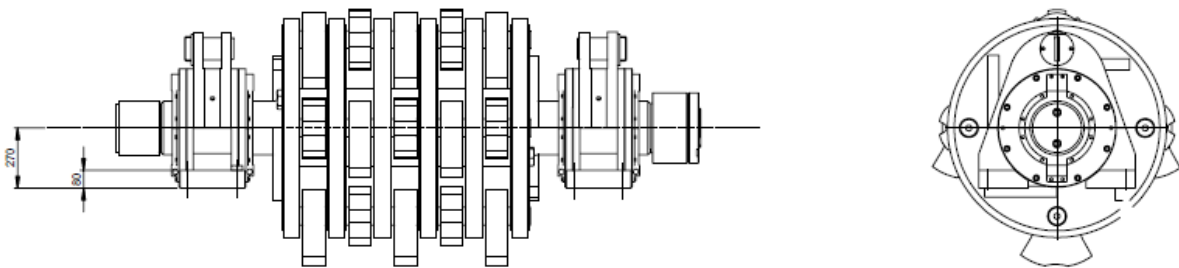
E' calcolata considerando la distanza tra due dischi successivi di uno stesso albero (200 mm) e la distanza tra due lame successive dello stesso disco. La distanza lasciata libera tra i due alberi è invece molto ridotta in quanto lì deve avvenire l'azione di tranciatura tra le lame contrapposte.

Frantoio a martelli (o mulino):



Il frantoio a martelli è composto da un nastro di alimentazione che porta il materiale nella camera di triturazione dove un rullo pressore spinge e evita il reflusso del materiale nella camera e regola la quantità in ingresso a seconda della sua posizione, essendo regolabile in altezza. Dopodiché è presente un albero che gira a elevata velocità (800- 1200 rpm) al quale sono calettati sei dischi, ognuno di essi ha 4 fori disposti a 90 gradi uno dall'altro. In questi fori passano 4 perni nei quali sono infilati alternativamente martelli e stellari negli spazi fra i dischi. L'azione di frantumare è affidata ai martelli che a causa della forza centrifuga si estendono radialmente e

impattano il materiale, lo stellare invece ha la funzione di arpionare e trascinare il materiale verso le griglie con fori da 100 mm. Le aperture presenti nella foto dietro alle griglie costituiscono una via di sfogo del materiale, durante il funzionamento sono chiuse da una finestrella con apertura idraulica, che viene aperta quanto il frantoio si intasa .



Sotto le griglie del frantoio è presente un alimentatore vibrante che porta il materiale ad un tamburo magnetico per la separazione dei metalli ferrosi (tranne l'acciaio inox non magnetico), composto da una corona esterna rotante e un cilindro intero. Solo la metà rivolta verso l' uscita del frantoio è composta da un elettromagnete che attrae il materiale ferroso, dunque il materiale rimane attaccato alla corona esterna fino a che

non arriva nell'altra metà del cilindro dove cessano le forze di attrazione magnetica e il materiale casca su un nastro trasportatore. Il materiale non magnetico invece non viene attratto e prosegue il ciclo su un'altra linea.

Caratteristiche tecniche:

Potenza:

- motore elettrico: 550 kW
- gruppo di aspirazione polveri: 30 kW

potenzialità produttiva: 10-20 [tonn/h] in funzione della tipologia di materiale trattato.

Manutenzione:

La manutenzione di questo macchinario è abbastanza onerosa poiché l'insieme degli elementi del rotore è soggetto a grandi sforzi e usura.

I martelli e i perni sono sostituiti circa ogni 400 h invece gli stellari ogni 800 h, inoltre ogni 200 h occorre girare i martelli poiché si tende a usurare solo uno dei due nasi del martello.



Ognuna di queste operazioni richiede circa 4 h di lavoro, dunque ipotizzando un costo della manodopera di 30 euro/h, conoscendo i prezzi del materiale:

- martelli: $10 \times 239 \text{ euro} = 2390 \text{ euro}$
- perni : $4 \times 380 = 1520 \text{ euro}$
- stellari $10 \times 140 = 1400 \text{ euro}$

Supponiamo di fare una valutazione dei costi per 800 h di lavoro in cui dovrò fare le seguenti operazioni:

- 200 h : girare i martelli, con costo della manodopera pari a : $30 \times 4 = 120 \text{ euro}$

- 400 h: cambiare martelli e perni al costo di : $2390 + 1520 + (30 \times 4) = 4030$ euro
- 600h: girare i martelli, con costo della manodopera pari a : $30 \times 4 = 120$ euro
- 800h: cambiare martelli e perni al costo di : $2390 + 1520 + (30 \times 4) = 4030$ euro e cambiare gli stellari al costo di 1400 euro.

In totale l'intervento costa $4030 + 1400 = 5430$ euro.

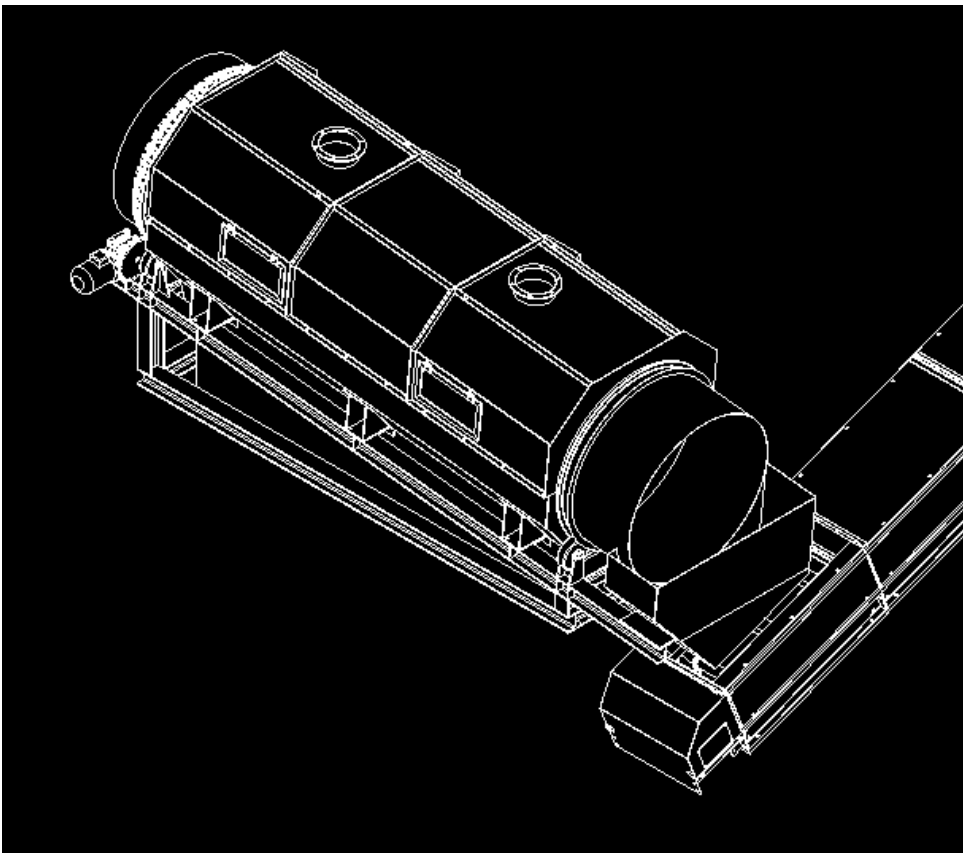
Dunque per 800 h di lavoro si spendono circa: $120 + 4030 + 120 + 5430 = 9700$ euro.

Quindi il costo della manutenzione per ora di lavoro risulta: $9700 / 800 = 12.13$ euro/h

Materiale in uscita:

questo frantoio monta griglie con fori da 100 x 100 mm, dunque il materiale in uscita è tale da passare dentro questi fori.

Vaglio rotante:



il vaglio è composto da un cilindro inclinato rispetto all'orizzontale con all'interno delle griglie forate, il cilindro è posto in rotazione a basse velocità tramite un motore elettrico, dunque la forza centrifuga spinge il materiale fuori dalle griglie e ricade sotto il vaglio.

Caratteristiche tecniche:

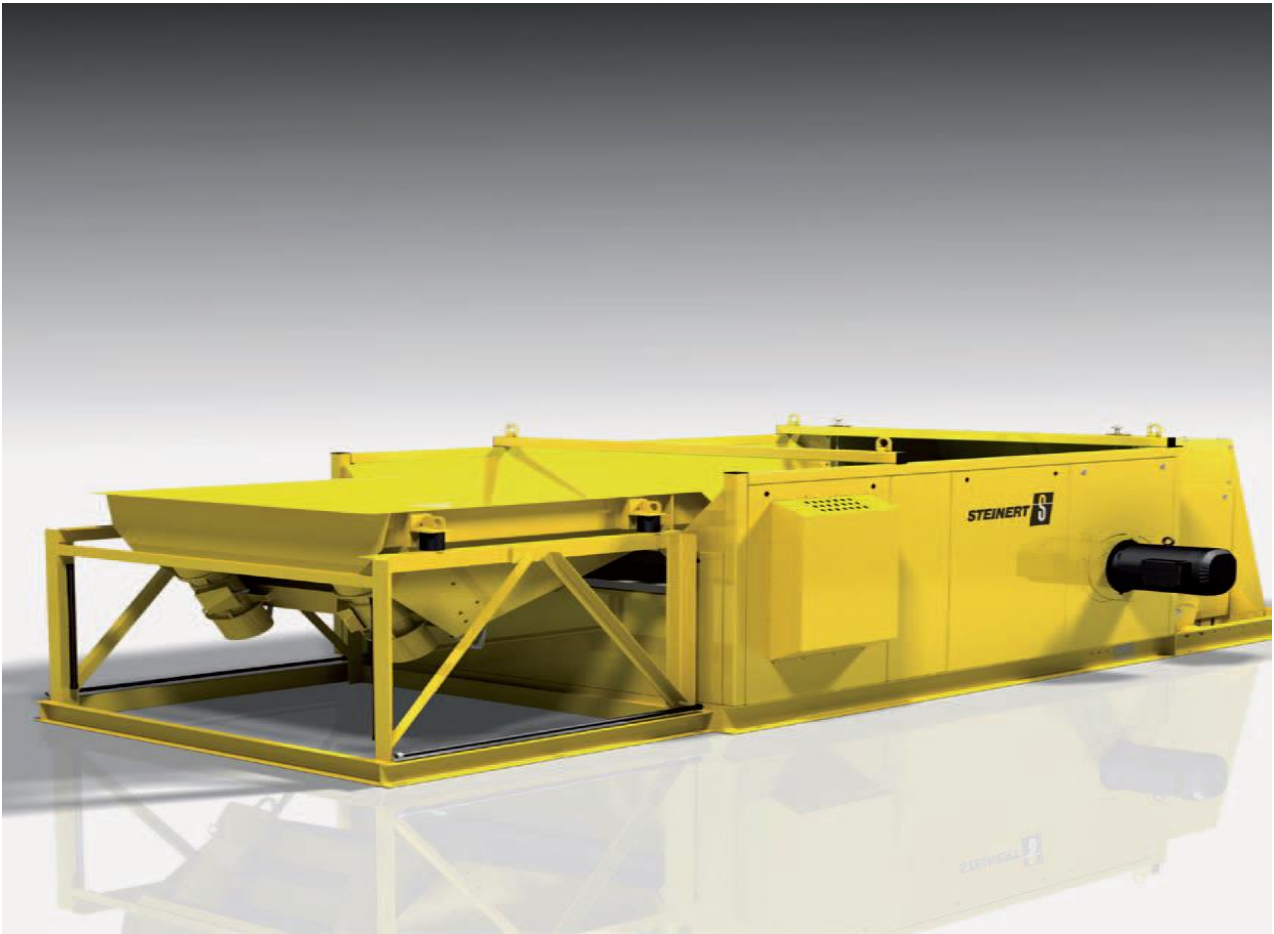
Potenza richiesta:

- motore elettrico = 7 kW

Materiale in uscita:

Su questo vaglio è possibile separare tre pezzature di materiale diverse, con due misure di griglie. Attualmente in azienda sono montate due griglie uguali da 10 mm che separano la frazione di materiale di piccole dimensioni che sono destinati allo smaltimento in discarica. Dunque il materiale in uscita ha dimensioni comprese tra 10 e 100 mm.

Separatore a correnti indotte (Steinert NES) :



Origine: www.steinertglobal.com

Il separatore a correnti parassite sfrutta i principi dell'elettromagnetismo descritti dalle leggi di Ampere-Maxwell e di Faraday-Neumann-Lenz per separare materiali a elevata conducibilità elettrica (descrizione tratta dalle dispense del prof. Franco Mastri)

Legge di Ampere-Maxwell:

la circuitazione del vettore campomagnetico lungo una linea chiusa è uguale alla corrente totale concatenata con la linea stessa

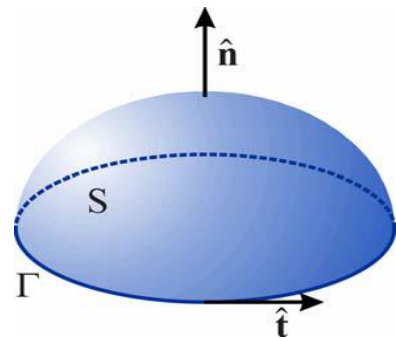
$$\oint_{\Gamma} \mathbf{H} \cdot \hat{\mathbf{t}} \, dl = \underbrace{\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{D} \cdot \hat{\mathbf{n}} \, dS}_{i_s} + \underbrace{\int_S \mathbf{J} \cdot \hat{\mathbf{n}} \, dS}_{i_c} = i_T$$

- T : curva chiusa
- S : generica superficie avente T come contorno
- Versore tangente a T e normale a S orientati come indicato in figura
- H: campo magnetico [A/m]
- D: induzione elettrica [C/m²]
- J: densità di corrente [A/m²]
- I_S : corrente di spostamento concatenata con S
- i_C : corrente di conduzione concatenata con S
- i_T : corrente totale concatenata con S

Legge di Faraday- Neumann-Lentz:

La forza elettromotrice indotta in una linea chiusa è uguale all'opposto della derivata del flusso di induzione magnetica concatenato con la linea stessa.

$$\underbrace{\oint_{\Gamma} \mathbf{E} \cdot \hat{\mathbf{t}} dl}_e = - \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{n}} dS$$



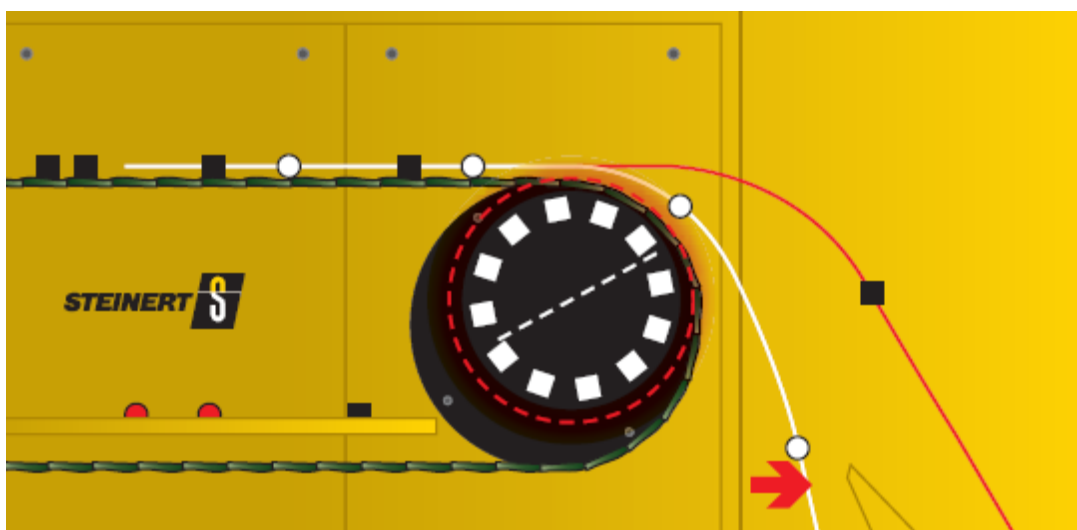
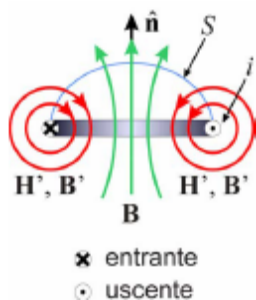
- T : curva chiusa
- S : generica superficie avente T come contorno
- n : versore tangente a T e normale a S orientati come indicato in figura
- e : forza elettromotrice (f.e.m.) indotta [V]
- B : vettore induzione magnetica [T]
- E: vettore campo elettrico [V/m]

A causa del segno del termine a secondo membro, la f.e.m. indotta è sempre tale da opporsi alla causa che la ha generata (legge di Lenz)

Esempio:

Si considera il caso in cui la linea T coincide con un conduttore, in presenza di f.e.m. indotta, nel conduttore circola corrente. Un incremento del flusso di B dà origine a

una corrente indotta che risulta positiva se si assume il verso di riferimento indicato in figura. Questa corrente genera un campo magnetico H' , diretto in modo tale da produrre un flusso di induzione magnetica negativo attraverso S .

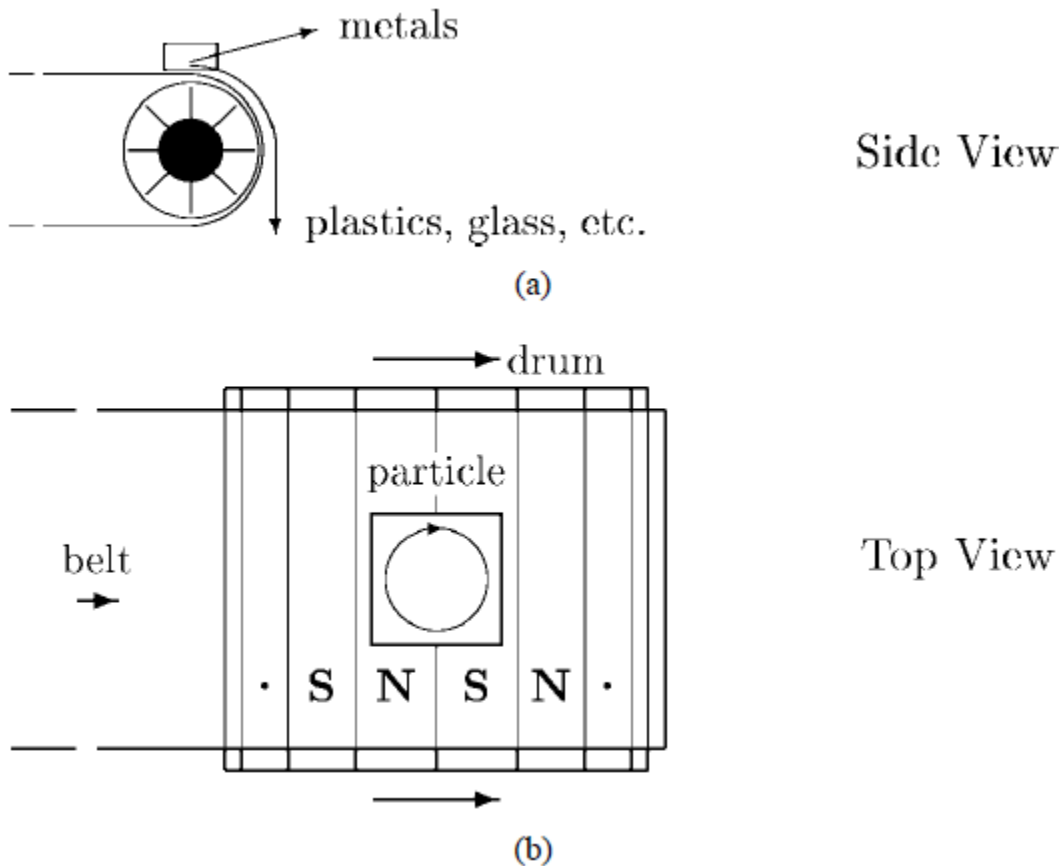


Origine: www.steinertglobal.com

Nel separatore Stainert NES la variazione del flusso di induzione magnetica che genera la forza elettromotrice è data da un rullo composto da magneti permanenti con un certo numero di poli che ruota a velocità angolare variabile tra 60 e 2500 rpm in posizione eccentrica rispetto al centro del rullo del nastro, in modo da concentrare il campo elettromagnetico nella zona di separazione. La forza elettromotrice indotta genera un moto di elettroni, dunque delle correnti dette parassite o di Foucault. Queste correnti sono di intensità proporzionale alla conducibilità elettrica del materiale, quindi maggiore per i metalli.

Le correnti parassite nel materiale generano un campo magnetico opposto a quello che le ha generate. Essendo il tamburo composto come in figura da magneti a polarità invertita uno di fianco all'altro, la forza di repulsione magnetica accelera il materiale facendolo saltare dal nastro.

Il macchinario è composto da tre sezioni, nella prima è presente un alimentatore vibrante che distribuisce tutta la larghezza del nastro, nella seconda è presente un magnete permanente al neodimio che attrae le polveri magnetiche residue che altrimenti rimarrebbero attaccate al tamburo rotante, deteriorando il macchinario, l'ultima sezione è composta dal macchinario vero e proprio, con il tamburo a poli.



La traiettoria di uscita del materiale dipende da:

- Forza di gravità: $F_g = ma = \rho Va$, dipendente sia dalla densità dunque dalla tipologia di materiale, sia dalle sue dimensioni.
- In minima parte dalla forza di attrito col nastro e dall'aerodinamica della traiettoria.
- Interazioni fra il materiale, cioè sovrapposizioni di materiale metallico e inerte che possono deviare la traiettoria.
- Forza di repulsione magnetica che è dipendente sia dall'intensità e dalla frequenza del campo magnetico primario, sia dalla resistenza del materiale, perciò sia dalla conducibilità elettrica che dalle sue dimensioni.

La frequenza del campo magnetico influisce anche sul cosiddetto effetto pelle dei conduttori, cioè il fatto che la corrente elettrica si distribuisca solo sulla superficie esterna del conduttore, dunque con un aumento di resistenza elettrica. Infatti per grandi pezzature i campi magnetici devono essere a bassa frequenza e quindi maggior capacità di penetrazione nel materiale, per pezzature piccole invece l'effetto ha meno influenza date le comunque ridotte dimensioni del materiale e si devono usare frequenze più elevate per indurre correnti maggiori.

- Forza centrifuga che è maggiore per i pezzi di più grandi dimensioni

La conducibilità elettrica è definita come rapporto tra la densità di corrente e il campo elettrico:

$$\sigma = \frac{J}{E} \quad [1/\text{ohm} \cdot \text{m}]$$

La resistività invece è l'inverso della conducibilità:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad [\text{ohm} \cdot \text{m}]$$

La resistenza elettrica risulta :

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad [\text{ohm}]$$

Dunque riporto qui sotto una tabella coi valori della resistività e densità dei principali materiali trattati :

Materiali	Resistività [1/ohm*m]	Densità[kg/dm ³]
Acciaio non legato	0.14	7.87
Acciaio inox	0.71	7.91
Alluminio	0.028	2.7
Rame	0.017	8.96
Bronzo	0.07	8
Zinco	0.053	6.85

Origine: www.engineerplant.it

Risulta che l'acciaio inox ha una resistività elevata, quindi una conducibilità elettrica molto più bassa degli altri metalli, per questo motivo il separatore a correnti parassite non riesce a separare l'acciaio inox. Un'altra problematica sono i fili di rame che sono solitamente ancora ricoperti di isolante, che inibisce le interazioni magnetiche col tamburo rendendo impossibile la separazione dei fili di rame ricoperti.

Le possibilità di regolazione della macchina sono:

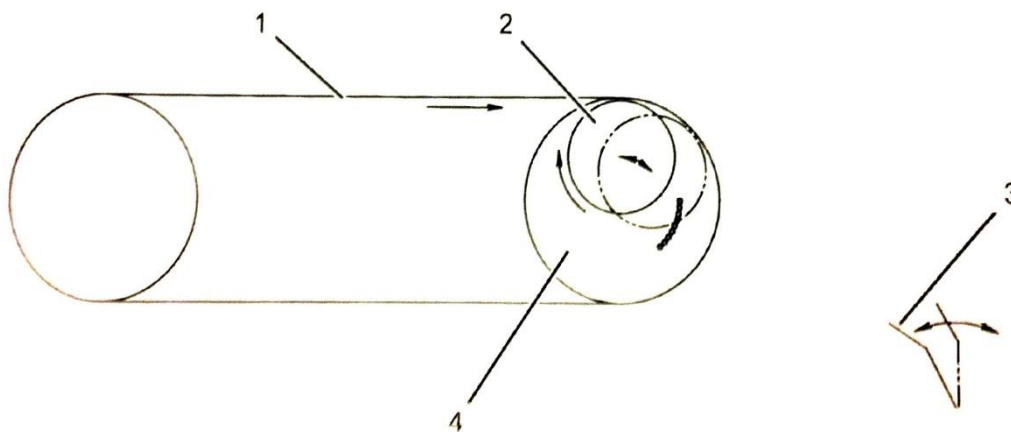


Immagine tratta dal manuale fornito dalla Steinert

1. Velocità del nastro trasportatore: (1.0-2.5 m/s)

Un aumento della velocità del nastro porta a un incremento della forza centrifuga sul materiale che si stacca dal nastro, dunque una velocità eccessiva potrebbe portare le plastiche con massa più elevata al di là del separatore, con conseguente diminuzione della purezza e del valore del materiale recuperato. D'altro canto la velocità del nastro determina anche la portata di materiale dunque non può essere troppo ridotta per chiare motivazioni di economia generale.

2. Numero di giri al minuto del magnete a poli: (60-2500 rpm)

Il regime di rotazione del magnete determina la frequenza del campo, per pezzature grandi occorre un basso numero di giri al minuto, per pezzature piccole invece un elevato regime di rotazione.

3. Posizione del vertice separatore:

La posizione del vertice separatore è regolabile sia in termini di distanza dal rullo sia in termini di inclinazione rispetto all'orizzontale.

4. **Posizione del sistema eccentrico:** (12- 48 gradi rispetto alla verticale)

Determina il punto di massima intensità del campo magnetico, dunque a seconda della sua inclinazione le traiettorie di uscita saranno più o meno arcuate.

Caratteristiche tecniche:

Larghezza del nastro: 1 m

Potenzialità produttiva: 5-15 ton/ora a seconda del volume del materiale

Rendimento: L'impianto attuale lavora con pezzature in uscita dal vaglio che vanno da 10 a 100mm , considerando tutti i fenomeni che influenzano la traiettoria di uscita del pezzo, risulta impossibile un'ottimizzazione perfetta per pezzature così disomogenee. Il rendimento di separazione (rapporto tra materiale recuperabile e quello effettivamente recuperato) del macchinario nelle condizioni dell'impianto attuale risulta di circa 75 % . In condizioni ottimali la Steinert dichiara un rendimento di separazione e una purezza di oltre 90 %.

Potenza elettrica:

motore di azionamento del nastro: 2.2 kW

motore di azionamento sistema a poli: 9.2 kW

potenza elettrica sistema di controllo: 6.6 kW

Valutazione del margine operativo

Quantità processate:

L'azienda è autorizzata al trattamento di R2 e R4, questo impianto tuttavia non è utilizzato solo per il trattamento dei RAEE, che rappresentano circa il 20 % dei materiali processati dall'impianto.

Quantità di prodotto in ingresso: $Q_{tot} = 2000$ [tonnellate/anno]

Quantità di R2 in ingresso: $Q_{R2} = 1500$ [tonnellate/anno]

Quantità di R4 in ingresso: $Q_{R4} = 500$ [tonnellate/anno]

Composizione percentuale del materiale in ingresso:

La composizione del materiale è in media quella indicata all'inizio della tesi, tuttavia in azienda sono state fatte delle analisi sul materiale risultante dalle varie lavorazioni.

R2

- Lavatrici:

Materiali	% in peso
ferrosi	38,36
cemento	36,77
plastiche	10,14
Motori (ferro-rame)	9,51
Non-ferrosi	1,82
Cavi	0,73
condensatori	0,13
Schede	0,10
Polveri	2,44

- Lavastoviglie:

Materiali	%in peso
ferrosi	50,18
plastiche	21,09
inox	7,27
motori(ferro-rame)	4,44
Non-ferrosi	2,18
cavi	0,58
condensatori	0,07
schede	0,07
acqua	4,65
Polveri	9,45

(La percentuale di acciaio inox risulta bassa rispetto alle medie sopraindicate in quanto qui è indicato solo l'inox non magnetico che finisce fra gli scarti del NES)

- Forni:

Materiali	% in peso
ferrosi	87,37
Non-ferrosi	4,03
plastiche	4,03
cavi	0,54
rame	0,40
Polveri	3,63

- Piani di cottura (alcuni comprensivi di forno integrato):

Materiali	% in peso
Ferrosi	76,72
Non-ferrosi	2,84
plastiche	2,59
cavi	0,17
polveri	17,67

- Scaldabagni:

Materiali	% in peso
ferrosi	68,18
plastiche	10,61
altro(schiume acqua ecc.)	21,21

Media pesata degli R2:

Materiali	% in peso
ferrosi	86,47
plastiche	4,89
Non-ferrosi	4,51
Cavi	1,50
Schede	0,75
Polveri	1,88

R4: (Già mediati dall'azienda)

Materiali	% in peso
fluff	41,84
ferro-rame	2,69
non-ferrosi	4,94
Polveri	4,30
ferrosi	46,23

(con la parola fluff si intende il materiale inerte che si ottiene dopo la lavorazione del NES)

Ricavi:

La seguente tabella mostra i valori attuali dei metalli recuperati. Questi numeri sono ricavati come frazione del valore di ogni materiale dato dalla borsa dei metalli (London metal exchange) e dunque dipendono dall'andamento di quest'ultima e dalla purezza del materiale recuperato. I valori in tabella sono stati calcolati nel mese di settembre 2013 e considerando una purezza del 90 %.

Materiali	Prezzo
ferrosi	250
non-ferrosi misti	1000
acciaio inox	1150
rame	4770
cavi di rame	1500
ferro-rame	1000
fluff	140
cemento	0
Polveri	-100

Il cemento dei contrappesi delle lavatrici è ritirato senza costi di smaltimento dalle ditte che lo utilizzano per produrre sottofondi.

La polveri vengono smaltite in discarica dunque in realtà costituiscono un costo per l'azienda.

- Ricavi derivati dalla lavorazione degli R2:

Materiali	Quantità [tonn/anno]	Valore [euro/tonn]	Ricavi [euro/anno]
Ferrosi	669	250	167158
ferro-rame	122	1000	122358
Non-ferrosi	30	1000	30500
Fluff	158	140	22099
polveri	51	-100	-5142
Cemento	469	0	0

Totale ricavi R2 : $R_{R2} = 336973$ [euro/anno]

- Ricavi derivati dalla lavorazione degli R4:

Materiali	Quantità [tonn/anno]	Valore [euro/tonn]	Ricavi [euro/anno]
ferrosi	255	250	63750
Ferro-rame	15	1000	15000
Non-ferrosi	35	1000	35000
Fluff	190	140	26600
Polveri	21.5	-100	-2150

Totale ricavi R4 : $R_{R4} = 138200$ [euro/anno]

Ricavi totali: $R_{tot} = R_{R2} + R_{R4} = 475173$ [euro/anno]

Costi di esercizio:

- **ore di funzionamento dell'impianto : 158 h**
- **materiale in ingresso**
costo R2: $C_{R2} = 120$ [euro/tonn]
costo R4: $C_{R4} = 160$ [euro/tonn]
costo materiale in ingresso: C_{in}

$$C_{in} = C_{R2} \times Q_{R2} + C_{R4} \times Q_{R4} = 120 \times 1500 + 160 \times 500 = 260000 \text{ [euro/anno]}$$

- **manodopera :**

L'impianto in funzione richiede due operatori poi due operatori per 1 ora ogni 7 di funzionamento, per un totale di 23 ore di scarico.

Dunque sono necessarie $158 + 23 = 181$ ore di lavoro di due operai e due macchine:

$$\text{costo manodopera: } C_m = 30 \text{ [euro/h]}$$

$$\text{costo manodopera totale: } C_{mtot}$$

$$C_{mtot} = 2 \times 30 \times 181 = 10860 \text{ [euro/ anno]}$$

- **energia elettrica:**

Alla potenza elettrica totale richiesta dai macchinari occorre aggiungere la potenza richiesta dai nastri trasportatori , che è di 10 kW.

$$\text{potenza elettrica richiesta dall'impianto} = P_{el} = 750 + 30 + 360 + 7 + 18 + 10 = 1175 \text{ [kw]}$$

$$\text{Costo dell'energia elettrica} = C_{el} \text{ [euro/anno]}$$

$$\text{prezzo del kilowattora} = p_{kwh} = 0.210 \text{ [euro/kwh]}$$

$$\text{ore di lavoro annuali} = h_{tot} = 158 \text{ [ore/anno]}$$

$$C_{el} = P_{el} \times h_{tot} \times p_{kwh} = 1175 \times 158 \times 0.210 = 38.754 \text{ [euro /anno]}$$

- **Manutenzione:**

$$\text{Costo manutenzione trituratore : } C_{tri} = 23.33 \text{ [euro/ora]}$$

$$\text{Costo manutenzione frantoio a martelli : } C_{fr} = 12.13 \text{ [euro/ora]}$$

$$\text{Costo totale manutenzione: } C_{man}$$

$$C_{man} = C_{tri} \times h_{tot} + C_{fr} \times h_{tot} = 23.33 \times 158 + 12.13 \times 158 = 5602 \text{ [euro/anno]}$$

- **Costi vari:**

L'azienda rileva a fine anno costi per altri 42069 euro.

L'ammontare dei costi totali in un anno risulta :

$$C_{tot} = 360000 \text{ [euro/anno]}$$

Margine operativo lordo:

$$U = R_{tot} - C_{tot} = 475173 - 360000 = 115173 \text{ [euro / anno]}$$

Margine per tonnellata di prodotto: U_u

$$U_u = U / Q_{tot} = 115173 / 2000 = 57,59 \text{ [euro/tonnellata]}$$

Prestazioni e ottimizzazione dell'impianto:

In questo capitolo andrò a descrivere le prestazioni in termini di potenzialità produttiva e rendimento di separazione dell'intero impianto per poi valutare l'introduzione di alcune migliorie che permettano il miglioramento di questi due parametri e quindi la redditività dell'impianto.

La potenzialità produttiva dell'impianto è data da quella della macchina meno produttiva. Come già detto il valore è fortemente influenzato dalla tipologia del materiale in ingresso.

Per quanto riguarda i RAEE la produttività rilevata dall'azienda è di circa 13 tonnellate/ora.

Per i rendimenti di separazione (forniti dall'azienda) abbiamo che il primo elettromagnete recupera il 97 % dei ferrosi presenti nel materiale in ingresso, il secondo elettromagnete recupera circa il 50% dei ferrosi rimanenti. In totale l'impianto recupera il 98.5 % dei ferrosi ferromagnetici.

Per quanto riguarda i non-ferrosi l'azienda ha rilevato un rendimento del 75 % . Il rendimento del separatore a correnti parassite risulta fortemente penalizzato dalle pezzature non omogenee del materiale di ingresso, infatti la Steinert garantisce rendimenti di oltre 90% su pezzature omogenee. Per aumentare il rendimento di separazione si potrebbe ipotizzare di introdurre un altro NES che lavori in parallelo a quello attuale su pezzature 10-50 mm, ottenibili con l'introduzione di una griglia più larga nel vaglio, che è già predisposto. Tuttavia l'aggiunta di un altro NES senza aumentare la quantità di prodotto lavorato porterebbe a bassi fattori di carico delle macchine quindi a una scarsa efficienza, inoltre non risolverebbe il problema della perdita dei cavi di rame e dell'acciaio inox. Una soluzione più interessante verrebbe dall'introduzione di un separatore a sensori per metalli che permetta di recuperare tutta la frazione di non-ferrosi misti presente negli scarti del NES.

Osservando il ciclo produttivo ci si può chiedere se possa essere più conveniente prevedere un nastro trasportatore che colleghi il frantumatore al mulino per evitare il costo degli operatori del macchinario di movimentazione addetti all'operazione di scarico del frantumatore, trasporto e carico del mulino. Bisogna comunque considerare che il mulino necessita di un operatore che supervisioni il processo così che non si avrebbe un pieno risparmio del costo personale. Inoltre pur essendo le due

potenzialità produttive coerenti, il frantumatore ha una produzione troppo variabile nel tempo, dunque la sincronizzazione dei due macchinari risulterebbe difficoltosa e avrebbe un effetto negativo sulla produzione del mulino.

Analisi di possibili sviluppi dell' impianto

Cosa offre il mercato impiantistico

Dopo aver analizzato l'impianto aziendale la mia ricerca sul mercato degli impianti di trattamento dei rifiuti è cominciata con l'obiettivo di individuare macchinari adatti alla ulteriore separazione dei prodotti della lavorazione del NES, compatibilmente con i volumi di materiale trattati in azienda, con gli obiettivi e il background aziendale. Per questo motivo ho subito escluso dalla ricerca gli impianti di trattamento delle materie plastiche. Dunque la mia analisi si è focalizzata su macchinari che possano separare la frazione metallica residua dal materiale inerte in uscita dal NES e separare tra di loro i vari metalli non-ferrosi.

Il mercato offre principalmente tecnologie a sensori e tecnologie a separazione elettrostatica .

Tecnologie a sensori:

Sostanzialmente queste tipologie di macchinari utilizzano un sensore che riconosce una qualche proprietà tipica di un materiale o di una classe di materiali e li separa dai restanti in maniera artificiale per esempio usando dei soffietti ad aria compressa.

Per questa classe di macchinari ho valutato i prodotti della Steinert, una grossa azienda tedesca leader nel mercato della separazione dei rifiuti, con la quale la Siderrottami ha già avuto esperienza acquistando il separatore a correnti indotte.

Induction sorting system (ISS): questo macchinario tramite dei sensori rileva la conducibilità elettrica dei materiali metallici dunque aziona gli ugelli dell'aria compressa per separare il materiale rilevato. Questa macchina permette la separazione della frazione metallica dal materiale inerte in uscita dal NES e la separazione dell'acciaio inox.

X-ray sorting system (XSS): questo sistema utilizza un sensore a raggi X, composto da una sorgente di raggi x e una telecamera sensibile ai raggi x che ne valuta l'intensità dopo aver attraversato il materiale. La variazione di intensità rispetto al passaggio nel vuoto rappresenta l'assorbimento specifico del materiale, una proprietà che permette di risalire alla sua composizione chimica. Con questo sistema è

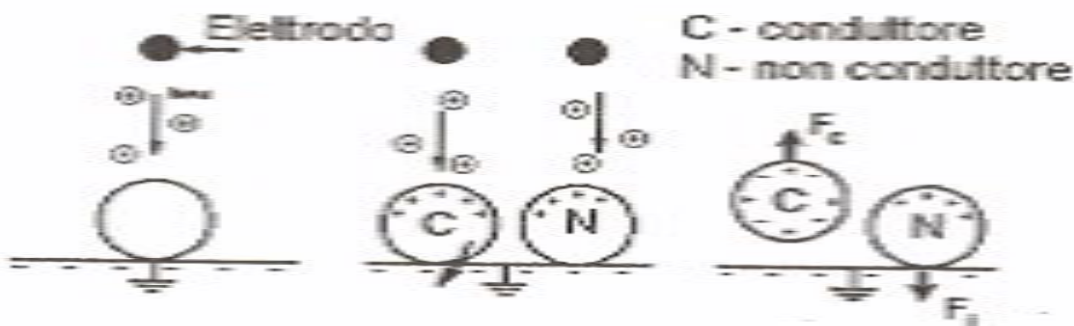
possibile separare i metalli leggeri come alluminio e magnesio dai più pesanti come bronzo, rame e zinco.

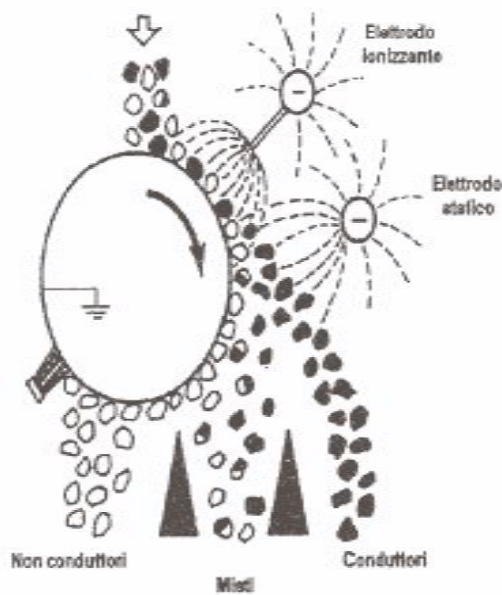
Colour sorting system (FSS): questa macchina rileva la diversa lucentezza dei materiali utilizzando una moderna luce a LED e un sensore che rileva la luce riflessa permettendo ad esempio la separazione del rame dall'ottone e dallo zinco.

Separazione elettrostatica:

Hamos KWS: questo macchinario ha la funzione di separare il materiale metallico dal materiale non conduttivo. Schematicamente è composto da un alimentatore vibrante che permette una distribuzione uniforme del materiale e da una coppia di elettrodi posti a una elevata differenza di potenziale (circa 30000 V). Un elettrodo ha la funzione di ionizzare l'aria intorno al materiale provocando un bombardamento di ioni positivi sul materiale che dunque si carica positivamente, il secondo elettrodo invece è un tamburo metallico rotante dotato di messa a terra. Quando il materiale carico elettricamente entra a contatto col tamburo rotante accade che:

- i metalli, buoni conduttori, scaricano immediatamente la carica in eccesso, che si disperde tramite la messa a terra. Il materiale si riporta alla condizione iniziale di neutralità elettrica e si stacca dal tamburo per effetto della forza centrifuga.
- il materiale con minor conducibilità elettrica (plastiche, vetro, ecc) oppone resistenza al passaggio delle cariche quindi rimane carico per un certo lasso di tempo rimanendo attaccato al tamburo fino a che non si conclude il passaggio di cariche in eccesso dal materiale alla messa a terra, ovvero finchè la forza di attrazione elettrostatica, che lega il materiale al tamburo, non risulta minore della forza centrifuga.





Scelta dei macchinari:

I criteri che ho utilizzato per una prima scelta dei macchinari sono:

- Coerenza con il materiale in ingresso e con i volumi trattati dall'azienda
- Compatibilità con l'impianto attuale
- Coerenza con gli obiettivi e il know-how aziendale

In primo luogo ho escluso dalla mia valutazione il macchinario della Hamos in quanto il separatore elettrostatico funziona correttamente solo con pezzature di materiale comprese fra 100 μm e 8 mm, dunque non è utilizzabile nell'impianto attuale dato che in uscita dal vaglio ci sono solo pezzature maggiori di 10 mm. Tuttavia questo macchinario potrebbe essere utilizzato per il recupero dei materiali dalle polveri di scarto del vaglio, ma non ho approfondito l'argomento poiché l'introduzione di questo macchinario risulta chiaramente di scarsa economicità dato che il valore del materiale recuperato è molto basso. Infatti i metalli di così piccola pezzatura presentano un basso rendimento di fusione dovuta all'ossido presente sulla superficie del pezzo, la cui percentuale in volume risulta maggiore rispetto a pezzature più grandi.

L'introduzione di questa tipologia di macchinari risulta di grande interesse per il recupero dei metalli preziosi contenuti nelle schede elettroniche (oro, argento, rame ecc.) senza l'ausilio di metodologie di tipo chimico. Tuttavia occorrono ovviamente grandissimi volumi di produzione per ammortizzare l'investimento poiché le schede elettroniche si trovano in basse percentuali nei rifiuti, dunque il macchinario non è adatto all'azienda.

La macchina FSS non è compatibile con l'impianto aziendale perché richiede in ingresso materiali privi di polvere sulla superficie, invece l'impianto aziendale è dotato di nebulizzatori d'acqua che durante la lavorazione del mulino evitano la propagazione delle polveri che renderebbero l'ambiente di lavoro poco confortevole, dunque le polveri depositandosi formano un sottile strato sul materiale.

Per quanto riguarda le altre tecnologie a sensori risultano tutte quante adatte alle pezzature trattate in azienda e comunque coerenti coi volumi aziendali e permettono la separazione di prodotti che l'azienda può commerciare facilmente data la decennale esperienza nel settore. Tuttavia l'XSS non risulta di grande interesse poiché la frazione di non ferrosi in uscita dal NES è già quasi totalmente composta da alluminio in quanto il rame presente nei RAEE trattati è prevalentemente sotto forma di cavi elettrici, dunque non ha un'importanza primaria. Ben più interessante invece risulta l'introduzione dell'ISS, in quanto permette di recuperare materiali con valore elevato altrimenti persi, inoltre risulta utilizzabile non solo nella lavorazione dei RAEE ma anche ad esempio nella lavorazione dell'elettronico industriale (quadri elettrici ecc.) che contengono grandi quantità di cavi elettrici. Dunque ritengo necessario una descrizione più approfondita dell'ISS per poter poi valutare la convenienza all'introduzione di questo nuovo macchinario.

Descrizione del nuovo macchinario:



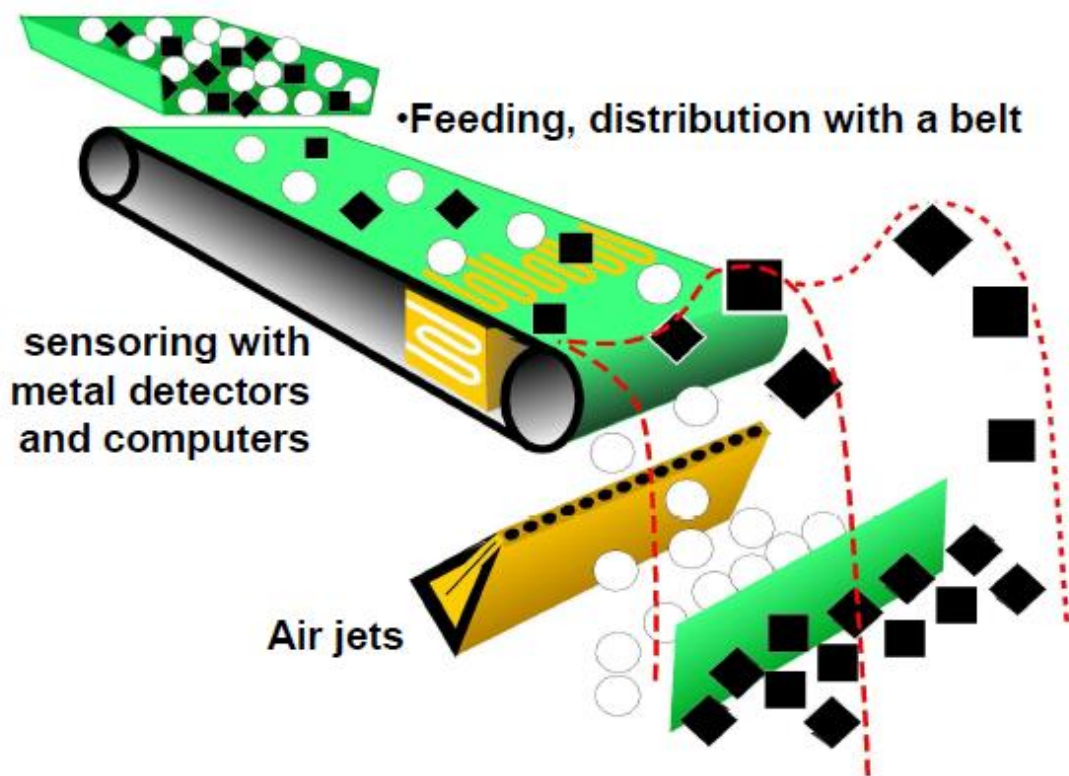
Origine: www.steinertglobal.com

Steinert ISS (induction sorting system)

Questo macchinario si basa su una tecnologia a sensori per la selezione dei metalli e un sistema a ugelli di soffiaggio a comando computerizzato per la separazione.

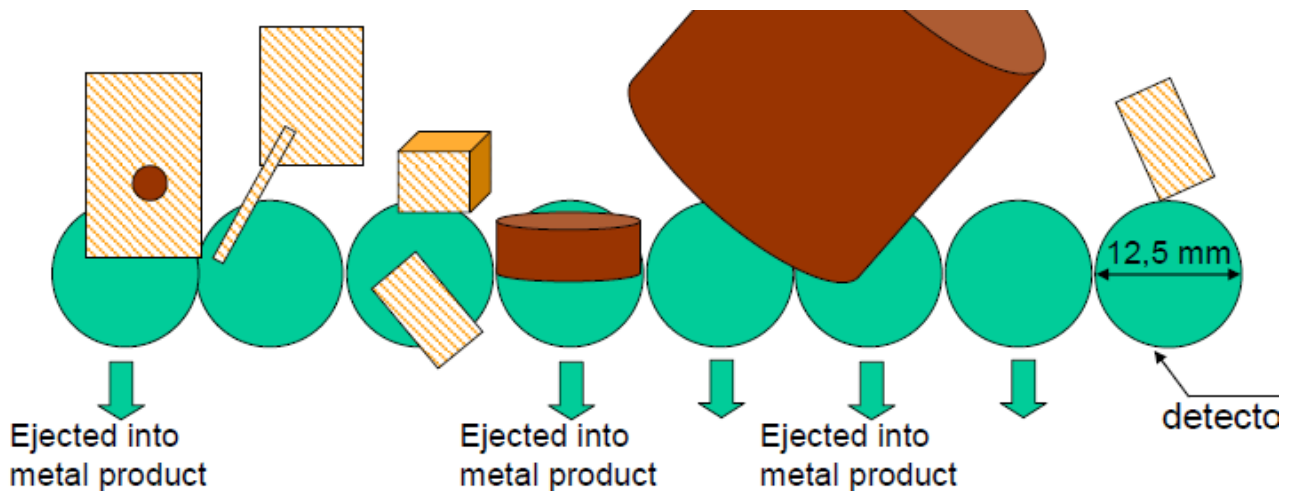
Il sensore per la selezione dei metalli è composto da un emettitore di onde elettromagnetiche che incidono sul materiale, quando incontrano un metallo le onde elettromagnetiche tendono ad accelerare gli elettroni di conduzione, per questo motivo le onde vengono in gran parte riflesse, maggiore è la conducibilità del metallo e maggiore sarà la porzione di onda riflessa (un conduttore ideale rifletterebbe totalmente l'onda incidente). Inserendo un sensore sensibile all'onda riflessa, collegato a un computer che associa all'intensità dell'onda riflessa la tipologia di materiale si distinguono i metalli dai non metalli, ma anche metalli con conducibilità

elettrica molto differente, permettendo di separare l'acciaio inox dalla restante frazione metallica. Dunque è possibile recuperare la frazione metallica che sfugge al separatore a correnti parassite, composta da cavi di rame, acciaio inox, schede elettroniche.



Origine: Sensor based Metal sorting in Recycling –Practical experiences

Il macchinario è composto da una serie di sensori posti uno a fianco dell'altro, su tutta la larghezza del nastro che monitorano ognuno una zona di 12.5 mm di diametro e che, se individuano un metallo, inviano un segnale tramite il computer al corrispondente ugello che espelle il materiale contenuto in quel cerchio di 12.5 mm di diametro.



Origine: Sensor based Metal sorting in Recycling –Practical experiences

Sono possibili adattamenti di ottimizzazione: si può personalizzare la programmazione della velocità del nastro, la sensibilità dei sensori e il ritardo dopo il riconoscimento della parte metallica, come pure la pressione degli ugelli ad aria compressa e la durata di soffiaggio, la posizione degli ugelli ad aria compressa, sopra o sotto la traiettoria di getto, la loro distanza dal materiale sfuso e la loro inclinazione. Tanto più vicini sono gli ugelli alla parabola delle particelle, tanto più pulito sarà il prodotto.

Caratteristiche tecniche

Potenzialità produttiva:

5-10 [(tonn/h)*m] (tonnellate all'ora per ogni metro di larghezza della macchina).

L'impianto attuale necessita di un ISS con larghezza di nastro di 1m.

Materiale in ingresso: pezzature da 1 a 200 mm

rendimenti :

fino al 95 % .

La purezza del materiale recuperato cala aumentando la portata poiché aumentano fenomeni di sovrapposizione di materiale, può succedere che il materiale non metallico viene separato insieme al metallico con conseguente diminuzione della purezza e del valore del materiale recuperato.

consumo energetico:

La macchina richiede una portata in volume di aria compressa, a una pressione minore di 10 bar, di circa 10 m³/ minuto per ogni metro di larghezza del nastro

La potenza elettrica richiesta dal sistema di controllo, sensori e motori dei nastri è di circa 10 kW.

Dimensioni:

1630 x 9594 x 2148 (larghezza-lunghezza-altezza)

Studio di fattibilità**Servizi di impianto necessari****Dati di progetto:**

Portata di aria necessaria : 600 m³/ora

Pressione_{max} richiesta : 10 bar

Ho ricercato un compressore che garantisca queste specifiche tecniche:



Si tratta di un compressore rotativo a vite della Fini Compressori, il modello che ho scelto è un Tera 10010 SD (l'immagine raffigura un modello più potente) che ha le

seguenti caratteristiche tecniche che risultano compatibili con quelle richieste dall'impianto:

- Portata volumetrica: 630 m³/h
- Pressione massima 10 bar
- Potenza assorbita 75 kW
- Peso totale: 1250 kg
- Dimensioni: 1800x1100x1770 mm (lunghezza-larghezza-altezza)
- Rumorosità: 73 decibel
- Prezzo = 25 000 euro

Descrizioni fornita dal catalogo:

Compatto e con trasmissione diretta con ingranaggi e giunto elastico. Macchina completa di pannello elettronico di comando e controllo, refrigeratore finale, separatore di condensa con scaricatore temporizzato.

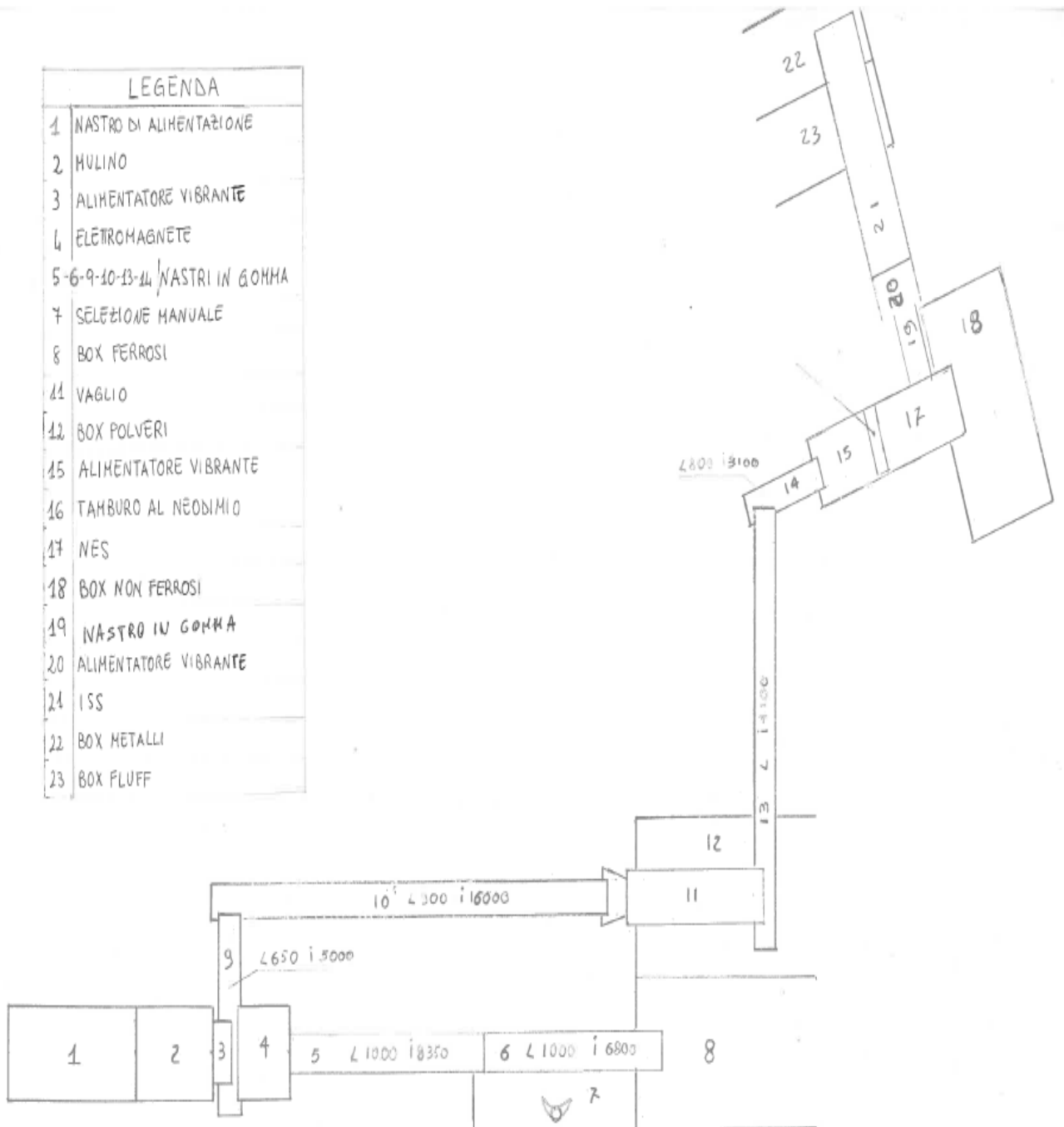
Il compressore nella sua configurazione standard è raffreddato ad aria ed è progettato per il servizio continuo.

Disponibili come optional le versioni con raffreddamento ad acqua e scambiatore olio/acqua per il recupero del calore.

L'allestimento dei modelli TERA SD comprende un pannello di pre-filtrazione per la separazione del pulviscolo ambientale per mantenere pulito l'interno della macchina. La manutenzione è agevolata da ampie porte su cardini e pannellature con chiusure di sicurezza. La tipologia e la posizione delle ventole, unite ad una eccellente insonorizzazione, rendono i compressori TERA SD particolarmente silenziosi.

Ciclo produttivo:

Il nuovo macchinario può essere montato nell'impianto costruendo una struttura, analoga a quella che sorregge il NES, che porti l'ISS alla stessa altezza, dopodiché basta collegare l'uscita del fluff del NES con l'entrata dell'ISS tramite un nastro trasportatore.



Calcolo convenienza economica

Metodo del valore attuale netto(VAN)

Quantità dei materiali recuperabili:

- fluff R2: 158 [tonn/anno]

composizione media fluff R2:

Materiali	% in peso	Quantità [tonn/anno]
Cavi di rame	1	1,58
Acciaio inox	5	7,89
plastiche e altro	94	148,38

Negli R2 risulta rilevante la quantità di acciaio inox (presente soprattutto nelle lavastoviglie), dunque quando si lavorano questi prodotti conviene settare la macchina per il riconoscimento dell'acciaio inox per avere un prodotto uniforme in uscita rinunciando alla piccola percentuale di cavi. La percentuale di non-ferrosi persi dal NES risulta invece praticamente nulla data la già bassa percentuale di non-ferrosi presente negli R2

- Fluff R4: 190 [tonn/anno]

composizione media fluff R4:

Materiale	% in peso	Quantità [tonn/anno]
rame	6,04	11.48
Cavi di rame	11,55	21.95
Acciaio inox	0,26	0.49
plastiche e altro	82,15	154.30

Nel fluff derivato dalla lavorazione degli R4 è presente una notevole percentuale sia sotto forma di cavi elettrici sia come materiale puro. La frazione di non – ferrosi persi dal NES risulta quindi sostanzialmente , a meno di un esigua percentuale di

inox, composta da rame in piccole dimensioni che non è efficacemente separato con le correnti parassite.

Valutazione dei flussi di cassa:

Ricavi:

- ricavi derivati dal fluff R2:

materiale	Quantità [tonn/anno]	Valore [euro/tonn]	Ricavo[euro/anno]
inox	7,89	1150	9076
plastiche e altro	148,38	70	10387

- Ricavi derivati dal fluff R4:

materiale	Quantità [tonn/anno]	Valore [euro/tonn]	Ricavo[euro/tonn]
Rame	11,48	4770	54741
cavi	21,95	1500	32917,5
plastica	154,30	70	10800,93

Costi di esercizio:

- **Costo dell'energia elettrica:**

Costo dell'energia elettrica = C_{el} [euro/anno]

prezzo del kilowattora = $p_{kwh} = 0.210$ [euro/kwh]

potenza elettrica richiesta macchinario = $P_{el} = 85$ [kw]

ore di lavoro annuali = $h_{tot} = 158$ [ore/anno]

$$C_{el} = P_{el} \times h_{tot} \times p_{kwh} = 85 \times 158 \times 0.210 = 1035 \text{ [euro /anno]}$$

- **Costi di manutenzione:** questi macchinari hanno elevata affidabilità e non hanno particolari componenti soggetti a rapida usura , quindi ritengo che trascurare l'incidenza degli oneri di manutenzione porti ad una sottostima dei costi di esercizio trascurabile.
- **Costo del personale:** le macchine prese in esame non richiedono la presenza di un operatore, dopo un settaggio iniziale il funzionamento è totalmente automatico. Per quanto riguarda la fase di carico del materiale i macchinari

non richiedono l'intervento umano in quanto sono inseriti in un impianto a linea continua in cui il materiale è trasportato alle lavorazioni successive tramite nastri trasportatori automatici. Anche il costo della fase di scarico non risulta alterato in maniera significativa dall'introduzione del macchinario in quanto la quantità in uscita non varia.

- **Costo del mancato introito C_{mi}** relativo al fluff in uscita dal NES che attualmente è venduto a 140 euro / tonn. Dunque moltiplicando questo valore per il numero di tonnellate = 190+158 si ottiene $C_{mi}= 48720$ [euro/anno]

Flusso di cassa lordo :

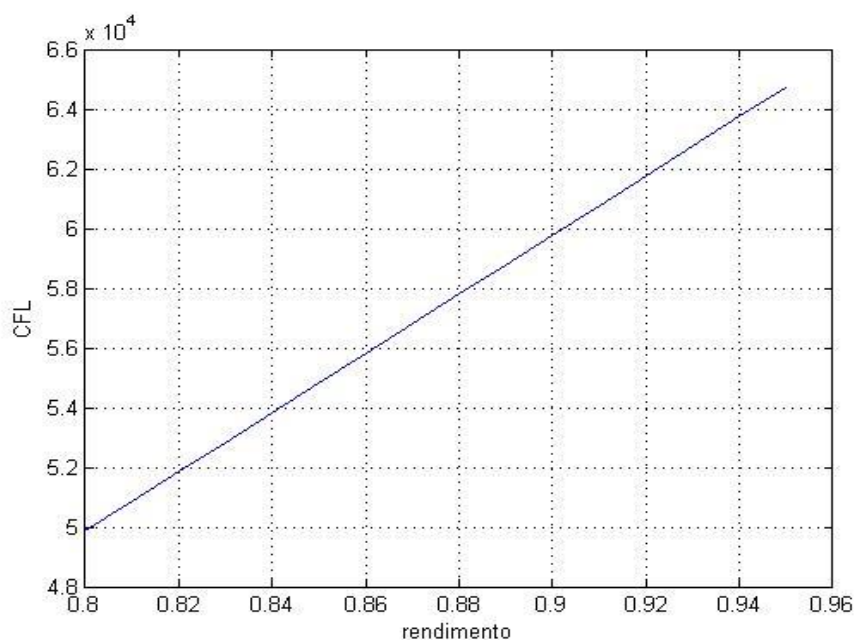
I ricavi indicati nelle tabelle sono solo teorici in quanto non tengono conto del rendimento di separazione che non è facilmente determinabile a priori. Nel calcolo ho considerato valori di rendimento variabili tra 80 e 95 %. La Steinert effettua prove gratuite sul materiale dei possibili clienti, quindi sarà possibile individuare i reali guadagni solo mandando il materiale alla Steinert che valuterà la reale efficacia dell'ISS nelle condizioni aziendali.

Flusso di cassa lordo : CFL [euro/anno]

Ricavo totale: R

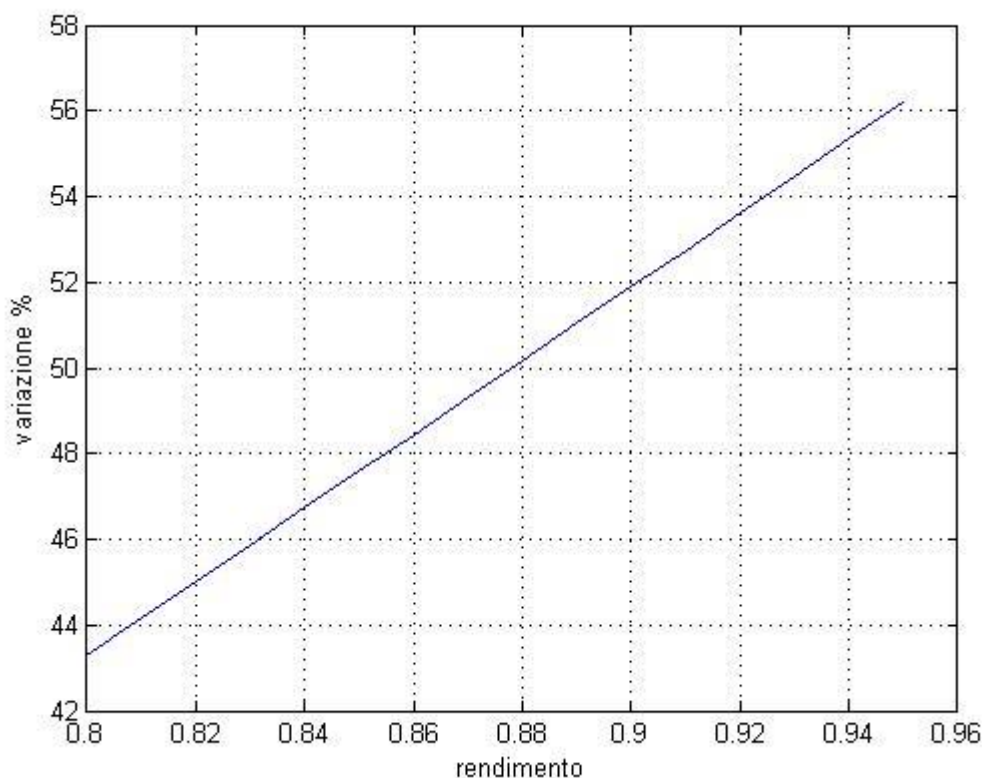
Costi totali: C

$$CFL = R - C$$



CFL risulta variabile tra 50000 euro e 65000 euro a seconda del rendimento.

E' utile anche valutare l'aumento del margine lordo unitario (per ogni tonnellata) rispetto all'impianto attuale, sempre in funzione del rendimento:



Questa lavorazione valorizza molto il prodotto in ingresso, infatti la marginalità associata a questa lavorazione è compresa fra 25 e 32 euro/tonn , mentre quella dell'intero impianto attuale è di 57.59 euro/tonn, quindi la marginalità totale risulta compresa fra 82.59 e 89.59 euro / tonn, ovvero un aumento di marginalità per ogni tonnellata di materiale processato compreso fra 43 e il 56 %.

Flusso di cassa netto:

Il flusso di cassa netto tiene conto anche della tassazione sugli utili derivati dall'investimento, contando anche il fatto che l'ammortamento a periodo rateale, ovvero all'anno, non è tassato, dunque deve essere sottratto dal flusso di cassa lordo andato a comporre il reddito imponibile.

T= aliquota fiscale a periodo rateale= 0.5 (50%)

A= ammortamento a periodo rateale= I/n [euro/anno] (supponendo ammortamento a rata costante)

Im= reddito imponibile [euro/anno]

$$\text{imponibile} = CFL - A$$

$$\text{Tasse} = t \times \text{imponibile}$$

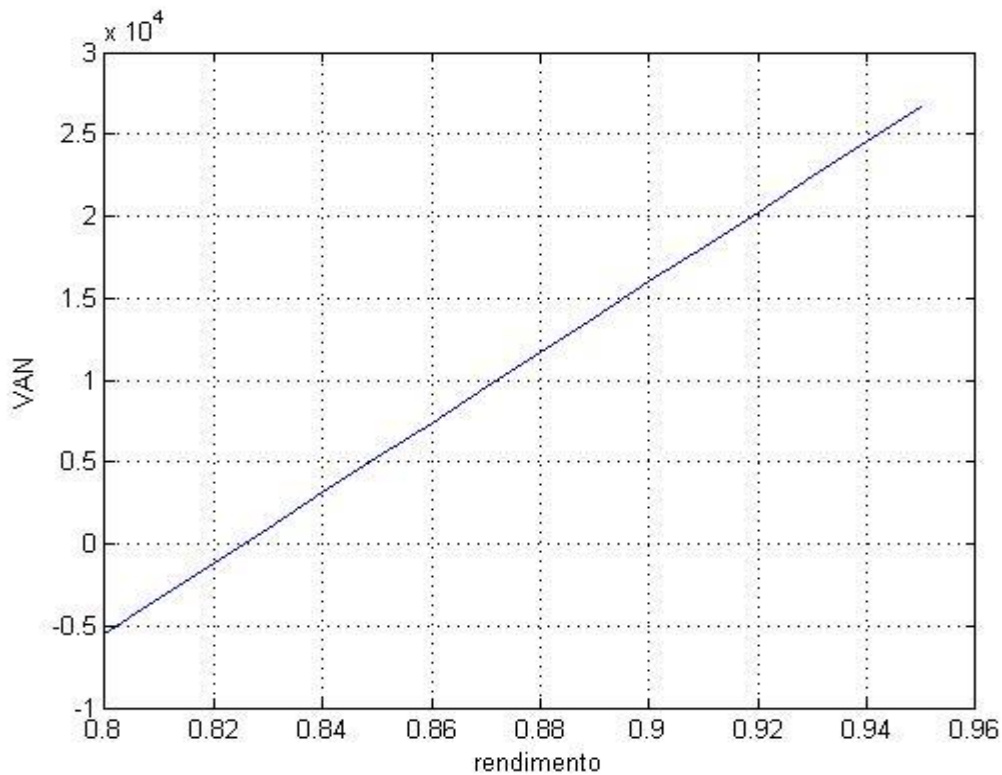
$$CFN = CFL - \text{Tasse}$$

$$CFN = (1 - t) \times CFL + t \times A$$

VAN:

Considerando un periodo di ammortamento di $n=5$ anni, un interesse $i = 5\%$ e un investimento totale del valore di 200000 euro.

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{CFN}{(1+i)^j} - I$$



Risulta un valore del variabile fra -5000 e 26000 euro. Dunque il tempo di ritorno dell'investimento risulta circa pari a 5 anni.

Conclusioni

L'investimento considerato non risulta attualmente di grande convenienza economica poiché sugli utili pesa molto il valore dell'ammortamento del costo del macchinario che è spalmato su una produzione poco elevata.

Tuttavia la marginalità lorda aumenta in modo considerevole, il macchinario infatti aggiunge molto valore perché permette il recupero di metalli di valore che attualmente vengono persi.

Bisogna considerare anche il fatto che i target di raccolta dei RAEE imposti dalla Comunità Europea aumenteranno nei prossimi anni, dunque è ragionevole pensare che le quantità di RAEE disponibili aumenteranno notevolmente con conseguente aumento dei ricavi.

Considerando questi fattori ritengo che l'investimento vada preso in seria considerazione, inviando per prima cosa campioni di materiale alla Steinert per verificare le prestazioni reali del macchinario e potenziando l'impegno nell'acquisto RAEE per poi acquistare il macchinario quando si avranno quantità di materiale in ingresso che giustifichino l'investimento iniziale.

Bibliografia

'I RAEE domestici generati in Italia', ECODOM

'Rapporto annuale 2011', centro di coordinamento RAEE

'Manuale d'uso Steiner NES', Steiner

'Sensor based Metal sorting in Recycling –Practical experiences', Dr. Ing. Ulrich Kohaupt Director Sales Steinert

Sitografia

www.steinertglobal.com

www.hamos.com

www.finicompressors.com

www.forrec.it