

Commissione tecnica per la

valutazione dei processi termici di inertizzazione
dei fanghi prodotti dagli impianti di depurazione di
Arzignano e Montebello

Relazione finale

Dicembre 2011

Sommario

Introduzione.....	3
Iniziative precedenti.....	3
Sviluppi successivi	4
Note metodologiche	4
Descrizione dei processi.....	6
A.1) processo PyroArc® (Sicit Chemitech/EnviroArc).....	6
A.2) ThermoEcoFan® (T.E.F) (Eurosistemi).....	9
B.1) Isotherm pwr® (Itea).....	12
B.2) AquaCritox® (Scfi/Siad)	15
Valutazione delle tecnologie	19
Premesse	19
Le tecnologie a confronto – i processi	20
Confronto su alcuni aspetti specifici	28
Le tecnologie a confronto – gli impianti.....	31
Le tecnologie a confronto – gli impatti ambientali	34
Le tecnologie a confronto – I costi	40
Considerazioni finali e proposte della commissione.....	43
La Commissione	46
Appendice:	47
Glossario.....	47

Introduzione

Iniziative precedenti

L'”*Accordo di Programma Quadro, per la tutela delle risorse idriche del bacino del Fratta – Gorzone attraverso l'implementazione di nuove tecnologie nei cicli produttivi, nella depurazione e nel trattamento fanghi del distretto conciario vicentino*”, sottoscritto il 05/12/2005 tra Ministero dell'Ambiente, Regione del Veneto, Enti locali, gestori del servizio idrico ed aziende conciarie, pone tra i traguardi importanti la realizzazione di impianti di inertizzazione e recupero dei fanghi di depurazione, minimizzando lo smaltimento in discarica, allo scopo di salvaguardare le risorse idriche costituite dal serbatoio acquifero dell'alto Gorzone e contermini. Le parti firmatarie dell'accordo (enti locali e associazioni di categoria) hanno in proposito assunto l'impegno di presentare uno studio di fattibilità, cui dovrà seguire la sottoscrizione di apposito accordo integrativo per realizzare degli impianti.

L'AATO Valle del Chiampo per il raggiungimento dell'obiettivo citato nel 2008 ha commissionato una prima fase di studio, iniziata nel febbraio 2008 e conclusa a dicembre 2008, condotta da professori dell'Università di Padova, Pavia e Trento. La Commissione di studio all'epoca nominata, dopo aver contattato alcune ditte che risultavano disporre di tecnologie percorribili, anche a seguito dell'incontro svoltosi il 17/06/2008 con la segreteria tecnica del Ministero, ha ritenuto di allargare l'indagine esplorativa ad altre ditte: l'AATO ha quindi pubblicato nel mese di agosto 2008 un bando per idee pubblicato anche su IL SOLE 24ORE, per raccogliere le manifestazioni di interesse, cui è seguita la richiesta di informazioni dettagliate, attraverso la compilazione di una serie di informazioni previste in una scheda descrittiva del processo (allegato A-2 alla relazione conclusiva dei lavori) cui hanno risposto in modo ritenuto adeguato 12 ditte, ossia il 54% delle ditte che avevano aderito al bando per idee pubblicato.

La prima fase di indagine per la identificazione e valutazione preliminare di processi e impianti per la riduzione dei fanghi di depurazione di acque da conceria ha tuttavia evidenziato i seguenti limiti:

- 1) mancata applicazione del processo proposto ai fanghi dell'industria conciaria, e quindi limitata esperienza sulla matrice di interesse;
- 2) lacunosità nella descrizione dei bilanci di materia dei singoli elementi nonché del bilancio energetico;
- 3) Indicazione solo orientativa circa la composizione di gas prodotti;
- 4) Mancanza di indicazioni circa le emissioni gassose in atmosfera;
- 5) Sottovalutazione dei residui in forma solida o liquida;

che hanno portato la commissione alla formulazione di conclusioni non esaustive sui processi tecnologici analizzati, dovuta alla parziale incompletezza delle informazioni fornite in questa fase, tanto che in sede di riunione del Comitato di sorveglianza in data 25/03/2009 è stata sottolineata la natura non conclusiva della fase di studio, i cui esiti peraltro solo stati solamente illustrati ma non presentati presso la Segreteria tecnica del Ministero nella seduta del 22/12/2008, che si è dichiarata in attesa della versione completa e finale della relazione. Peraltro bisogna sottolineare che nell'indagine preliminare condotta nel corso del 2008 la stessa Commissione tecnica ha evidenziato la necessità di una successiva fase di approfondimento, per definire in modo più esaustivo i dettagli

operativi e le prestazioni ottenibili dalle due macrocategorie di processi tecnologici (processi termici in carenza o assenza di ossigeno ed in eccesso di ossigeno) che in linea teorica sono stati riconosciuti idonei al raggiungimento dei seguenti due obiettivi prefissati:

- 1) Riduzione della massa di rifiuti da porre in discarica senza incrementarne i fattori di tossicità associabili alla presenza di Cr(VI);
- 2) Recupero energetico della frazione organica presente nei fanghi.

Sviluppi successivi

Proprio per approfondire l'indagine e portare ad un maggiore livello di dettaglio la fase di studio avviata nel 2008, e tenendo conto delle indicazioni date dalla Commissione tecnica nella relazione datata dicembre 2008, l'AATO Valle del Chiampo, con deliberazione dell'Assemblea d'ambito n. 13 del 25/06/2010 ha autorizzato i gestori a procedere ad un'ulteriore fase di approfondimento dell'indagine approvando a tal fine apposito disciplinare, redatto da un gruppo di tecnici individuato dai gestori e contenente tutte le informazioni necessarie allo scopo.

Sulla base delle risultanze della precedente commissione AATO, tenendo conto delle sperimentazioni condotte direttamente sui fanghi di conceria dai due gestori e delle tecnologie processistiche ritenute maggiormente idonee al raggiungimento degli obiettivi, sono state selezionate per presentare la propria valutazione/proposta le seguenti ditte, che già avevano aderito alla prima fase di indagine:

1. Sicit Chemitech/EnviroArc
2. Eurosistemi
3. Itea
4. Scfi/Siad
5. Officine di Cartigliano

Le cinque società interpellate per questa fase hanno presentato la documentazione richiesta nel termine prescritto del 23/12/2010.

Allo scopo di valutare i processi presentati e proporre all'AATO le conclusioni relativamente alla tecnologia più appropriata per il trattamento dei fanghi conciarati con recupero energetico, la stessa AATO, con deliberazione dell'Assemblea d'Ambito n. 1 del 26/01/2011, ha nominato la Commissione di valutazione col compito di condurre questa ulteriore fase di studio e di analisi dei processi termici proposti; ai lavori della Commissione partecipano i rappresentanti degli enti istituzionali (Regione Veneto, Arpav, Provincia di Vicenza e AATO Valle del Chiampo) con funzioni di garanzia dei lavori condotti.

Note metodologiche

L'insediamento della Commissione è avvenuto l'8/02/2011. Nella seduta, oltre alla nomina del Presidente, è stata consegnata ad ogni membro una copia della documentazione fornita dalla 5 ditte con la richiesta a ciascuno di una verifica sommaria della stessa documentazione, al fine di valutare la rispondenza dei contenuti alle prescrizioni contenute nel disciplinare contrattuale.

Nella riunione successiva del 1° marzo 2011 la Commissione si è confrontata sul giudizio di ammissibilità della documentazione; ne è emerso un giudizio unanime di accettabilità dei documenti

presentati da Sicit Chemitec, Eurosistemi ed Itea, e di inaccettabilità per la documentazione presentata dalla ditta Officine di Cartigliano, in quanto nella prima parte proponeva un impianto con dimensioni diverse e senza i dettagli richiesti, nella restante si presentava come un'informativa commerciale della ditta. Infine la documentazione presentata da Scfi/Siad è stata giudicata molto scarna, anche se formalmente completa; considerato comunque che quest'ultima proponeva una tecnologia innovativa e promettente, unica tra quelle presentate (Cartigliano proponeva sostanzialmente un sistema di gassificazione già proposto da altre due ditte) e che trova sempre più applicazione nel trattamento dei fanghi di depurazione, la Commissione ha deciso di mantenerla nel novero delle tecnologie da valutare, pur riservandosi il giudizio ad esito di integrazioni di cui si sarebbe fatta richiesta.

Per il prosieguo delle operazioni sono stati quindi individuati quattro relatori tecnici, a ciascuno dei quali veniva affidato uno dei quattro progetti selezionati con il compito di esaminare approfonditamente la documentazione fornita e relazionare alla Commissione; nello specifico:

- al prof. Paolo Canu il processo PyroArc® (Sicit Chemitech/EnviroArc)
- al prof. Gabriele Scaltriti il processo ThermoEcoFan (T.E.F) (Eurosistemi)
- all'ing. Daniele Refosco il processo Isotherm pwr® (Itea)
- al dott. Walter Formenton il processo AquaCritox® (Scfi/Siad).

Durante le successive sedute della Commissione i relatori hanno presentato le diverse tecnologie, mettendo in evidenza peculiarità, pregi e difetti, aprendo quindi la discussione sui temi; al termine delle presentazioni la Commissione, constatato che tutte le proposte, quale più quale meno, presentavano aree di incertezza, ha deciso di richiedere a ciascuna ditta specifici e circostanziati chiarimenti, fornendo un congruo lasso di tempo per la formulazione delle risposte, e di convocare le ditte stesse per incontri di confronto.

Attraverso i chiarimenti forniti e durante gli incontri con le ditte, la Commissione ha avuto modo di approfondire le tecnologie e le soluzioni impiantistiche proposte, l'esperienza ed il background dei proponenti nell'affrontare la problematica specifica.

Nella riunione del 14 luglio la Commissione ha stabilito i criteri per la valutazione comparata delle proposte per arrivare ad un giudizio finale, affidando successivamente a ciascun relatore tecnico, congruamente con le rispettive competenze, l'approfondimento; come temi di valutazione vengono decisi (in ordine logico, non di importanza):

- processo, affidato al prof. Paolo Canu
- impianto, affidato all'ing. Daniele Refosco
- aspetti ambientali, affidato al prof. Gabriele Scaltriti
- aspetti economici, affidato al dott. Walter Formenton.

Nei paragrafi che seguono vengono sintetizzate le valutazioni, le conclusioni e le raccomandazioni della Commissione.

Descrizione dei processi

I processi esaminati si distinguono in due grandi famiglie:

- A. processi in carenza di ossigeno (pirolisi/gassificazione) che partono da fango essiccato (presupponendo una sezione di essiccamento separata a monte) dove, sostanzialmente in condizioni anossiche e a spese di energia, la sostanza organica contenuta nel fango viene trasformata in syngas che, dopo purificazione, viene sfruttato per produrre energia. La mancata ossidazione del cromo da trivalente ed esavalente è intrinsecamente assicurata dalle condizioni di anossicità in cui avviene la “demolizione” della sostanza organica. La parte minerale esce come scoria inertizzata.
- B. processi ossidativi, che partono da fango disidratato (evitando la fase di essiccazione) dove, in condizioni particolarmente spinte e in un processo unico, l’acqua contenuta viene evaporata, la sostanza organica viene ossidata direttamente con ossigeno ed il calore generato dalla combustione sfruttato per produrre energia. La mancata ossidazione del cromo da trivalente ad esavalente è perseguita attraverso le condizioni particolari in cui avviene l’ossidazione della sostanza organica (con alte temperature e in presenza di gas che mantengono condizioni non alcaline, oppure mantenuto in fase acquosa e successivamente ridotto a trivalente) . La parte minerale esce come scoria inertizzata.

Al primo gruppo appartengono i processi PyroArc®, proposto da Sicit Chemitech, e ThermoEcoFan® (T.E.F), proposto da Eurosistemi, al secondo i processi Isotherm pwr®, proposto da Itea, e AquaCritox®, proposto da Scfi/Siad.

A.1) processo PyroArc® (Sicit Chemitech/EnviroArc)

La tecnologia PyroArc, licenziata dalla società EnviroArc Technologies AS, avente sede in Oslo, qui rappresentata da Sicit Chemitec, è una pirolisi (o gassificazione) piuttosto tradizionale la cui originalità sta nel trattamento dei gas con una torcia al plasma. Questa specifica competenza viene da precedenti esperienze industriali di una società svedese (ScanArc Plasma Technologies AB) con generatori di plasma ad “arco non trasferito” per l’industria metallurgica, con potenze fino a 10 MW. Il processo PyroArc nasce con l’obiettivo di trattare rifiuti anche pericolosi recuperando energia e stabilizzando le sostanze inorganiche (come ad esempio metalli pesanti) in una fase vetrosa inerte e riutilizzabile, impiegando un processo termico a due stadi.

Il primo stadio è un gassificatore di fusione in controcorrente in cui i fanghi sono caricati dall’alto del gassificatore a tino, dopo un pretrattamento di bricchettatura (v. glossario); affinché questo trattamento sia efficace i fanghi non devono avere un quantitativo di umidità eccessivo (secco > 85%). Un eccesso di acqua nel solido può determinare la rottura delle bricchette nel forno, con il rischio di aumentare l’emissione di polveri.

In funzione del potere calorifico del solido alimentato si aggiunge una certa quantità di coke, per sostenere la temperatura nella parte inferiore del forno.

La miscela di solidi alimentata è composta, nelle condizioni di progetto, da fanghi, imballaggi di legno, coke e agenti vetrificanti nelle proporzioni ponderali di 81/8/7/4 % circa.

Il materiale scende incontrando gas (reagenti e prodotti) che risalgono. Nel fondo del gassificatore s’inietta aria preriscaldata (gas reagente) in difetto rispetto allo stechiometrico per la combustione, ottenendo la gassificazione del materiale combustibile a una temperatura di circa 1 500 °C. I

materiali non combustibili (metallo, vetro e minerali) fondono nella parte bassa del gassificatore e vengono scaricati come lega metallica e materiale vetroso a cessione minima.

La temperatura alla sommità del gassificatore può oscillare, in funzione del materiale trattato e delle condizioni operative, fra i 150 e i 500 °C; in tali condizioni l'acqua e le sostanze volatili evaporano.

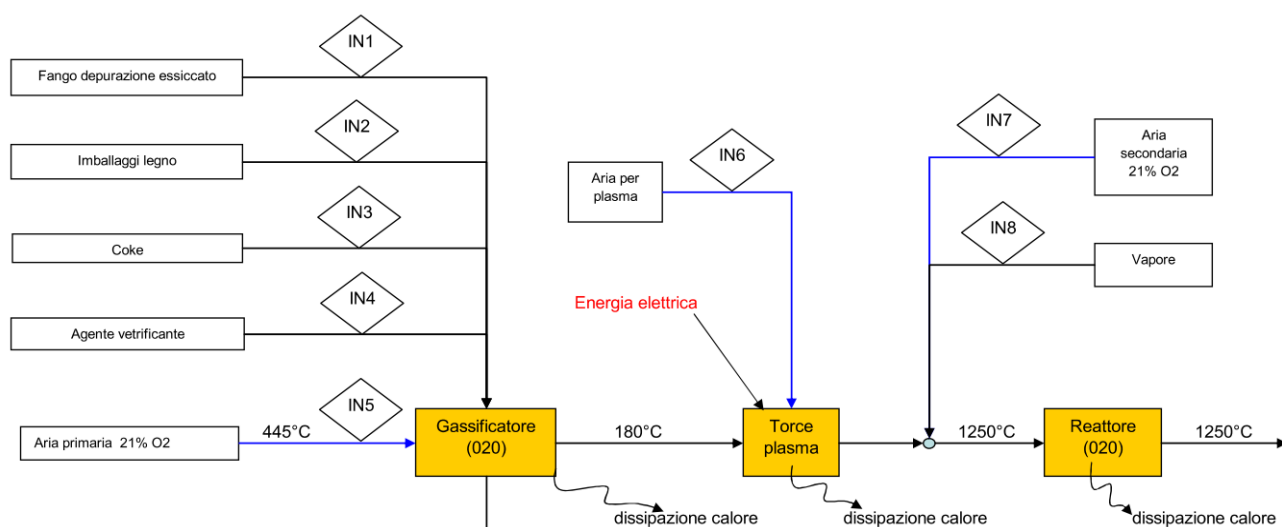
Il gas grezzo fuori uscente dalla sommità del gassificatore è miscelato con aria secondaria per ottenere, tramite una parziale ossidazione del gas stesso, un innalzamento della sua temperatura. Successivamente, il gas è miscelato con il flusso di plasma ad aria che innalza ulteriormente la temperatura fino a circa 1 300°C e decompone le molecole organiche complesse.

Rifiuti liquidi e gassosi possono essere iniettati direttamente nella seconda camera di reazione che segue le torce, dove vengono miscelati con il gas proveniente dal gassificatore. Il getto di aria allo stato di plasma possiede temperatura (3 000-5 000°C) e fornisce l'energia termica necessaria per conseguire la totale decomposizione di tutti gli idrocarburi, anche se fossero alogenati, poliaromatici e diossine.

In linea di principio tutte le tipologie di materiali possono essere trattate nel processo. Di questi, i composti inorganici contenuti possono essere riutilizzati: il materiale vetroso ("slag") può essere usato come materiale inerte di riempimento (ad es. per sottofondi stradali), mentre la lega metallica può essere riutilizzata in siderurgia, sempre che questa sia in quantità sufficiente a renderne economica la separazione dalla fase vetrosa.

Tutti i materiali organici sono convertiti in gas combustibile principalmente composto da CO (monossido di carbonio), H₂ (idrogeno), N₂ (azoto) e, meno, CO₂ (anidride carbonica). Questa miscela, dopo stadi di pulizia, può essere direttamente utilizzata in un motore a gas per la produzione di energia elettrica o in una caldaia per la produzione di vapore o acqua calda, in funzione delle esigenze e delle convenienze economiche. L'intero processo si svolge a pressione atmosferica.

Una rappresentazione schematica di quanto descritto è riportata nella figura seguente:



Il concetto basilare della tecnologia PyroArc, che la differenzia da altre tecnologie di gassificazione presenti sul mercato, è l'aver combinato all'interno di un'unica unità:

- una combustione parziale in controcorrente,
- la fusione e vetrificazione delle sostanze inorganiche,
- la pirolisi delle sostanze organiche,

operazioni che in altre proposte sono divise in reattori distinti.

L'assetto controcorrente di una singola unità di reazione è importante per un'elevata efficienza termica. Il forno a tino, noto dall'industria siderurgica, è la soluzione che garantisce l'ottenimento di uno "slag" completamente fuso con buona resistenza alla cessione, e la possibilità di recupero dei metalli di valore.

Rispetto ad altri processi che utilizzano il concetto del forno a tino, con stadi di post-combustione del gas, qui viene proposto il trattamento con il plasma, più efficiente per la decomposizione di idrocarburi ed altri gas tossici, frutto di esperienza specifica della società. Il vantaggio della tecnologia è primariamente la temperatura elevata del getto di plasma, che qui viene utilizzata solamente sui gas prodotti e non sul solido per la sua fusione/vetrificazione.

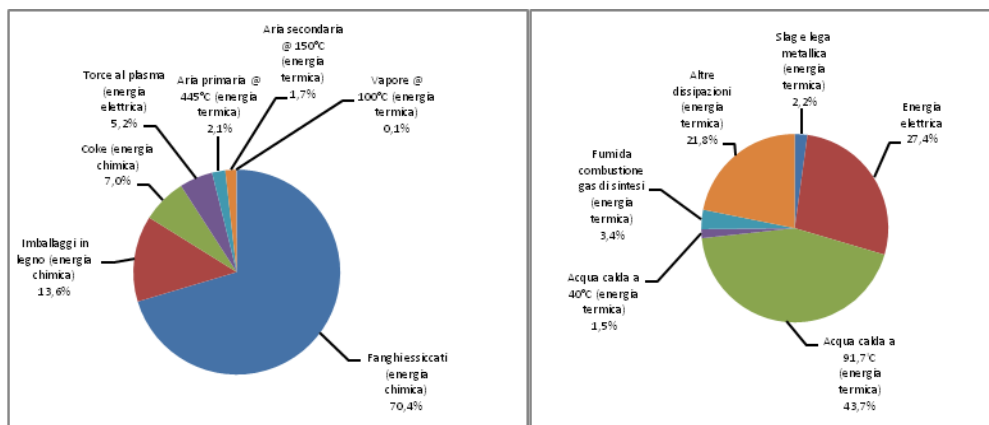
Per quanto riguarda il trattamento del syngas sono previsti lavaggi (sequenze di scrubber, con Venturi in testa per le polveri e tre stadi basici a valle, seguiti da elettrofiltro a umido) prima dell'impiego nei motori, per rimuovere le componenti inorganiche in forma ridotta (H_2S idrogeno solforato, HCl acido cloridrico, HCN acido cianidrico, COS solfuro di carbonile). Un'ulteriore trattamento dei gas è successivo ai motori, prima su catalizzatore di ossidazione per assicurare la conversione completa di CO e successivamente su catalizzatore *DeNOx* per la rimozione degli ossidi d'azoto. È prevista anche una fiaccola di emergenza a cui inviare i gas prodotti in situazioni anomale.

Le polveri raccolte nel recuperatore di calore e nei vari stadi di filtrazione e lavaggio vengono inertizzate con cemento portland e calce.

I reflui acquosi costituiscono una corrente minoritaria, con un modesto carico inquinante, a cui contribuiscono lo spurgo dell'acqua di raffreddamento dello slag, l'acqua estratta periodicamente dal miscelatore del gas di sintesi grezzo, le acque reflue generate dalla depurazione e deumidificazione del gas di sintesi, l'acqua di reiezione dell'impianto di produzione dell'acqua demineralizzata e lo spurgo del circuito dell'acqua di raffreddamento. Le correnti a più elevato carico vengono concentrate per evaporazione in due stadi (multiplo effetto e film sottile) e la sospensione residua inviata alla inertizzazione.

I recuperi di energia possono avvenire sia sotto forma termica che elettrica. Nella proposta sono previsti un recupero di energia elettrica direttamente dai motori nei quali viene alimentato il gas prodotto ed una produzione di energia elettrica da un ciclo Rankine a fluido organico, quest'ultimo riscaldato da varie correnti prelevate a valle dei reattori. L'utilizzo del ciclo a fluido organico, invece che vapore d'acqua, ha dei vantaggi per quanto riguarda l'efficienza di conversione in energia elettrica nel caso di potenzialità installate relativamente ridotte come sono quelle in gioco. La proposta formulata massimizza la produzione di energia elettrica e comporta che una grande parte di energia termica venga resa disponibile a relativamente bassa temperatura (circa 90°C), come evidente dal diagramma comparativo riportato di seguito. In questa configurazione lo sfruttamento

sarebbe possibile solo con un impianto di teleriscaldamento (accennato nella proposta). Altre configurazioni possibili, non proposte, permetterebbero una maggiore integrazione energetica con i cicli di essiccazione, ma sono ovviamente dipendenti dalla localizzazione dell'impianto e della tipologia di impianto di essiccazione.



L'impianto proposto è modulare e consiste di tre linee uguali in parallelo, da fanghi a syngas pulito, e un gasometro. Da qui prevedono sei linee uguali in parallelo per generazione energia elettrica via motori e tre linee uguali in parallelo per generazione energia elettrica via turbine a fluido organico.

E' molto importante rilevare che questa tecnologia, in un impianto semi industriale, è stata utilizzata per gassificare fanghi da trattamento acque di conceria (e fra questi, circa 200 t dall'impianto di Arzignano) e che una tecnologia molto simile (Biomass Engineering, a Ballymena Borough, UK per BLC Leather Technology Centre) è stata già utilizzata su scala pilota per lo stesso tipo di rifiuti. Le sperimentazioni effettuate per conto di Acque del Chiampo sono documentate in dettaglio e le risultanze rassicuranti, benché rimangano aspetti da migliorare e ottimizzare.

A.2) ThermoEcoFan® (T.E.F) (Eurosistemi)

Il processo ThermoEcoFan (T.E.F), proposto da Eurosistemi, evolve attraverso le seguenti fasi: pirogassificazione di fango essiccato con produzione di syngas; vetrificazione degli inerti e gassificazione del syngas. Tutte le operazioni sono condotte in ambiente controllato e supportate dall'immissione di metano e ossigeno. Il syngas sottoposto a trattamenti di depurazione è avviato ad una sezione di cogenerazione.

I fanghi prodotti presso i due impianti di depurazione di Arzignano e Montebello V.no è previsto siano alimentati, dopo parziale essiccazione, ad un forno a suola rotante (camera di pirogassificazione primaria) e portati a una temperatura di 900-1 000 °C. La condizione operativa è ottenuta con la combustione di metano (o syngas) e l'apporto di ossigeno puro. I fanghi sono alimentati alla periferia della suola rotante, rivestita di materiale refrattario, e su questa si completa il loro essiccazione e avviene la piro-gassificazione della frazione organica. Il mescolamento o rivoltamento dei fanghi è ottenuto con l'azione combinata della rotazione della suola e di una coclea posta trasversalmente e mantenuta a 5 cm dalla superficie della suola. Il calore necessario all'endotermia di gassificazione è generato da bruciatori speciali a fiamma piatta con il dosaggio stechiometrico del comburente (ossigeno) e del combustibile (metano). Il syngas che lascia la

camera di piro-gassificazione è convogliato ad una unità di gassificazione e portato con il dosaggio stechiometrico di metano, ossigeno e vapore acqueo, a 1 100 °C per la completa demolizione di catene molecolari complesse. Il dosaggio di vapore acqueo ha lo scopo di favorire la reazione con la polvere di carbonio trascinata dalla corrente gassosa che lascia il forno. La conformazione geometrica del reattore di gassificazione consente di mantenere un'elevata turbolenza del flusso gassoso.

Le ceneri residue, che contengono la frazione inorganica dei fanghi, quindi anche il Cr (III) , sono traslate tramite la coclea al centro della suola rotante e da qui cadono nella sottostante camera di fusione. La fusione è ottenuta con il dosaggio stechiometrico di combustibile (metano) e comburente (ossigeno) che ha il compito di elevare la temperatura delle ceneri fino al punto di fusione: 1 450-1 500 °C. Le ceneri, miscelate con gli agenti vetrificanti, scorrono in forma liquida nella camera di fusione e sono scaricate in un contenitore di acqua. Le ceneri fuse cadendo in acqua vetrificano e inglobano in forma vetrosa irreversibile i metalli in esse presenti. Le ceneri vetrificate vengono estratte e raccolte in apposito cassone scarrabile e quindi avviate allo smaltimento o al recupero.

Tutte le fasi descritte sono condotte rigorosamente in atmosfera controllata sempre esente da ossigeno libero. La corrente gassosa a 1 100 °C in uscita dal gassificatore è sottoposta a una fase di raffreddamento fino a 350 °C in uno scambiatore a doppia zona dove il fluido vettore circolante è olio diatermico. Questo provvede, attraverso un apposito circuito, alla produzione di vapore acqueo alla pressione di 10 bar circa.

Alla fase di raffreddamento seguono fasi di neutralizzazione e di purificazione del syngas. La prima fase provvede al raffreddamento fino a circa 90 °C e alla saturazione in acqua del syngas. L'operazione è condotta con una unità quencher. Al raffreddamento segue la fase di abbattimento del particolato eventualmente presente nel flusso gassoso. Questa è attenuata con l'impiego di un venturi-scrubber a gola variabile che consente di mantenere la velocità ottimale del gas nella gola entro un'ampia gamma di portata.

La terza fase prevede la neutralizzazione delle sostanze acide (Cl –cloro- e S –zolfo- presenti nei fanghi) mediante il lavaggio con una soluzione neutralizzante a pH basico; soluzione che viene riciclata previo raffreddamento in un sistema scambiatore-torre di raffreddamento. Il liquido di spurgo è avviato al trattamento di depurazione.

Di questa tecnologia non esiste un impianto funzionante. Parte delle unità proposte sono già state realizzate dall'Azienda in installazioni indipendenti; l'unità centrale (forno a suola rotante) è utilizzata in un impianto industriale con ottime prestazioni; tuttavia l'impianto tratta residui solidi di fermentatori industriali in industria farmaceutica e per molti aspetti (atmosfera controllata) differisce da quanto proposto (e necessario) per i fanghi da concia.

B.1) Isotherm pwr® (Itea)

Il processo ISOTHERM PWR[®] proposto da ITEA (società del gruppo Sofinter costituito nel 1979 con sede in Milano, comprende otto società, fra cui Ansaldo caldaie), sviluppato in collaborazione con ENEA, prevede una combustione ad alta temperatura (1 300-1 500 °C), in un reattore in cui le condizioni sono sufficientemente uniformi al punto di definirla 'flameless' (senza fiamma), in atmosfera ricca di ossigeno e in pressione (circa 4 bar).

Il fango, alimentato al reattore in forma disidratata (dopo la fase di filtrazione/centrifugazione dell'impianto di depurazione, prima dell'essiccamento), subisce una serie di pretrattamenti di tipo meccanico, es. macinazione, e nello stesso tempo viene miscelato insieme con quantità significative di alcuni reagenti e combustibili, quali acido fosforico, gasolio, olio combustibile e pirofosfato di potassio. Lo scopo dei pretrattamenti e delle addizioni è triplice:

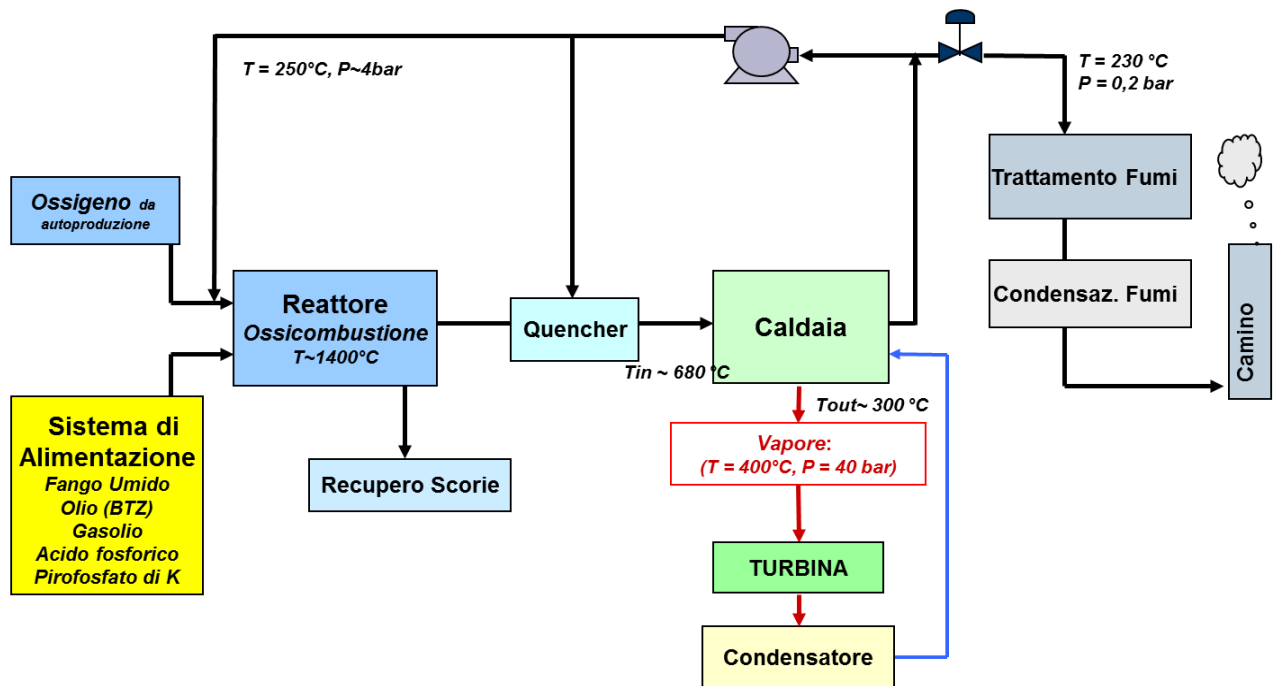
- a) portare il fango a dimensioni tali da non ostruire le lance di iniezione al reattore e fluidificarlo al punto da facilitare l'iniezione stessa,
- b) aggiungere un supporto energetico sufficiente, essendo il fango di partenza non essiccato e ricco di acqua, per permettere e sostenere la reazione di combustione della sostanza organica contenuta nel fango, che avviene nel reattore;
- c) formare dei centri di nucleazione e favorire la fusione in massa vetrosa delle ceneri che si formano nel reattore.

Insieme al fango così pretrattato viene iniettato nel reattore ossigeno preriscaldato al 90% di purezza, proveniente da un autoproduttore (impianto in cui da aria tramite passaggio attraverso particolari setacci molecolari si ottiene ossigeno che viene poi compresso), che fa da comburente nella reazione di combustione in eccesso di ossigeno delle sostanze organiche del fango e dei combustibili ausiliari. All'interno del reattore, per un tempo di tre secondi, le condizioni di elevata temperatura (circa 1 400°C), la presenza di gas sviluppati anche dai reagenti aggiunti di natura acida e la turbolenza (assenza di fiamma) impediscono la formazione del cromo esavalente e minimizzano la formazione di composti pericolosi quali diossine e furani. Le ceneri che si formano vengono estratte dal fondo del reattore verticale, in forma di massa fluida fusa, che cadendo in acqua fredda, forma dei frammenti di massa vetrosa, i quali hanno inglobati e concentrati al loro interno i metalli contenuti nel fango di alimentazione, questo anche per effetto dell'aggiunta nel reattore di fondenti.

I gas che fuoriescono dal reattore contengono CO₂, H₂O e piccole quantità di composti acidi quali SO₂ (anidride solforosa), NO_x (ossidi di azoto) e HCl (acido cloridrico), a temperature di circa 1 400°C vengono miscelati, in un quencher, con gas più freddi che fuoriescono dalla successiva caldaia e a temperatura di circa 650-700 °C entrano nella stessa per produrre vapore surriscaldato a 40 bar, con cui una turbina produce energia elettrica con ciclo Rankine.

Le condizioni di elevata turbolenza nel reattore vengono mantenute mediante il riciclo, previa compressione con un ventilatore, di parte dei fumi freddi (250°C) provenienti dalla caldaia, al reattore stesso.

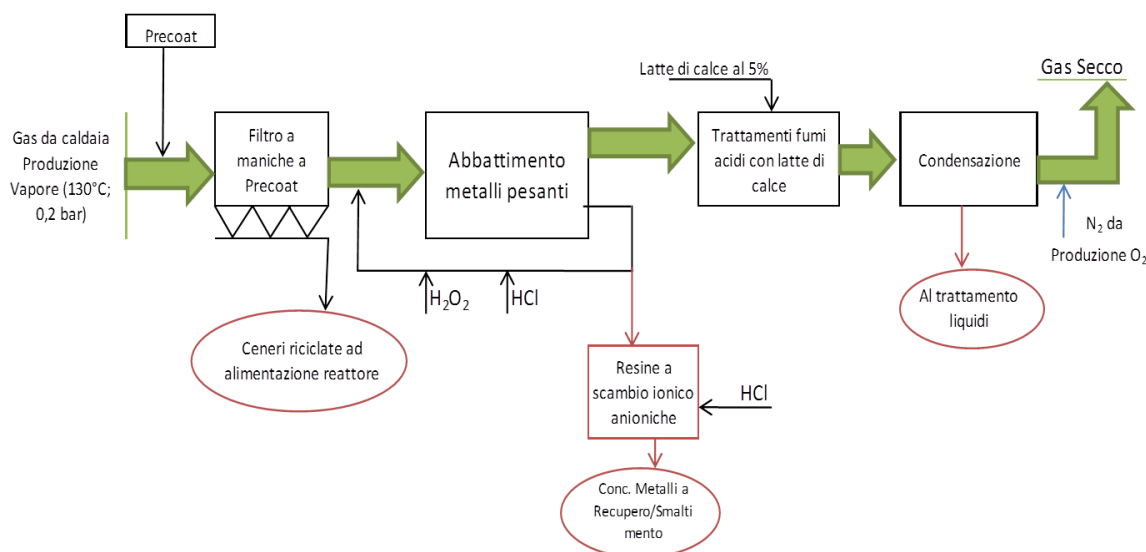
SCHEMA A BLOCCHI DEL PROCESSO TRATTAMENTO FANGHI GLOBALE



I fumi, prima dello scarico, vengono filtrati su filtro a maniche con addizione di farina fossile per l'intercettazione delle polveri, subiscono un trattamento per eliminare i metalli pesanti eventualmente presenti, sono neutralizzati in scrubber Venturi e quindi condensati, con l'ausilio di acqua fredda prodotta da un circuito a torri evaporative, prima dello scarico al camino.

La ditta, su richiesta specifica, dichiara la presenza dell'*oxigen staging* per la riduzione della concentrazione di NO_x , ma non descrive il sistema.

SCHEMA TRATTAMENTO EMISSIONI



I residui solidi estratti dal sistema sono le ceneri, il cui rilascio (lisciviazione) di metalli è quasi nullo per merito della matrice vetrosa con cui si presentano, mentre il contenuto di sostanza carboniosa e sostanze organiche è minimizzato dalla elevata temperatura con cui il reattore opera.

Le polveri estratte con il filtro a maniche, peraltro in quantità modeste in condizioni di regime, vengono riciclate nel reattore previa miscelazione con il fango da trattare.

I residui provenienti dalla neutralizzazione dei fumi, definiti “gessi” e contenenti calcio solfito, bisolfito, bicarbonato e calcio idrossido, subiscono una fase di decantazione e fuoriescono in forma palabile e sono dichiarati smaltibili in discariche per inerti.

I reflui acquosi, in quantità non elevata e con un modesto carico inquinante, sono inviati alla depurazione in un impianto non considerato nella proposta; ad essi contribuiscono lo spurgo della colonna di trattamento metalli pesanti presenti nelle emissioni gassose, la decantazione dei gessi provenienti dalla neutralizzazione dei fumi, le acque reflue generate dalla condensazione dei gas prima dello scarico a camino e lo spurgo del circuito dell'acqua di raffreddamento delle torri evaporative.

Il calore contenuto nei fumi di reazione viene utilizzato, come detto, per produrre vapore a 40 bar in una caldaia a tubi di fumo.

Il vapore prodotto dalla caldaia viene avviato ad una turbina a spillamenti, calettata ad un generatore elettrico che eroga l'energia elettrica ai morsetti; il rendimento della turbina è ipotizzato del 29%.

Il vapore è estratto dalla turbina alla minima pressione possibile (0,04 bar) compatibilmente con la minima temperatura dell'acqua di condensazione ottenuta da una torre evaporativa.

Il condensato viene preriscaldato mediante una serie di economizzatori che sfruttano i due spillamenti che avvengono sulla turbina e pompato in caldaia.

Il sistema produce una quantità di energia elettrica teorica pari a circa il 26% del potere calorifico del fango e dei combustibili fossili utilizzati, ma una gran parte di essa, circa il 15% del potere calorifico immesso, viene consumata nell'impianto per l'autoproduzione dell'ossigeno e il funzionamento delle rimanenti apparecchiature.

La proposta prevede di ridisciogliere il fango di Montebello trasportato essiccato, ma è probabilmente più conveniente (dipende da dove l'impianto viene collocato) trattare anche il fango di Montebello allo stato di disidratato.

Il sistema ammetterebbe il trattamento di altri rifiuti solidi particolari quali bancali e grigliati, solo dopo una fase di riduzione molto spinta della pezzatura, mentre solventi esausti (non considerati nella proposta) sarebbero molto facilmente alimentabili, potendo così costituire una fonte di energia utile.

L'impianto è stato proposto con la seguente modularità:

- due linee per la preparazione dello slurry da alimentare,
- tre linee complete di reazione e generazione vapore,
- due linee per il trattamento dei fumi
- una turbina per la produzione di energia elettrica dell'intero impianto (+fornitura di turbina su misura per primo modulo)
- due impianti di autoproduzione di ossigeno

La tecnologia Isotherm Pwr® è molto originale e, alla data attuale, risulta un solo impianto industriale in funzione, in un contesto piuttosto diverso da quello in esame. Si tratta di un impianto installato a Singapore che tratta reflui di un distretto industriale particolarmente difficili (basso potere calorifico, presenza di solidi, alta tossicità,..). Rilevante il fatto che esiste un impianto sperimentale di potenza nominale pari a 5MW termici a Gioia del Colle (Bari), nel quale sono state effettuate sperimentazioni su fanghi essiccati prodotti da Acque del Chiampo. Le risultanze sono dettagliatamente documentate ed hanno evidenziato risultati positivi, ma su intervalli di funzionamento brevi e discontinui, insieme ad indicazioni meno chiare, sulla base delle quali rimane la preoccupazione qui ripresa, di formazioni localizzate di Cr(VI) in fasi transitorie.

B.2) AquaCritox® (Scfi/Siad)

Il processo AquaCritox®, proposto da SCFI (Irlanda) assieme a SIAD, parte da fango disidratato (umido) e, in sintesi, consiste in un'ossidazione diretta con ossigeno dei fanghi in un reattore in condizioni supercritiche che li trasforma in CO₂, H₂O, N₂, SO₄ (ione solfato). La porzione di cromo (circa 1%), che viene ossidato a Cr(VI), successivamente viene ridotta a Cr(III) con elettrocoagulazione impiegando anodi di ferro. Rimane il residuo inorganico presente nel fango, oltre al ferro e cromo idrati che precipitano, di cui si prevede lo smaltimento in discarica come fango al 45% di SS, dichiarato inerte.

Calcolata sulla base del 16,388 % di solidi totali, la capacità produttiva massima oraria, richiesta per soddisfare le 140 t/giorno di sostanza secca da trattarsi, corrisponde a kg/h 36 458. La portata minima di flusso diventa, in relazione ai dati forniti, pari a 22 651 kg/h.

L'approccio modulare offre l'opportunità di realizzare stadi di avanzamento per l'adozione della tecnologia dell' Aqua Critox ®, mediante l'utilizzo di tre unità: un AquaCritox ® A30, un AquaCritox ® A100 e un AquaCritox ® A200. La massima capacità richiesta si otterrà con tutti e tre gli impianti funzionanti. Il sistema A30 dovrebbe operare al massimo della capacità di 3 800 kg/h, l'A100 a 11 000 kg/h e l'A200 alla sua capacità di progetto di 21 000 kg/h. Il funzionamento

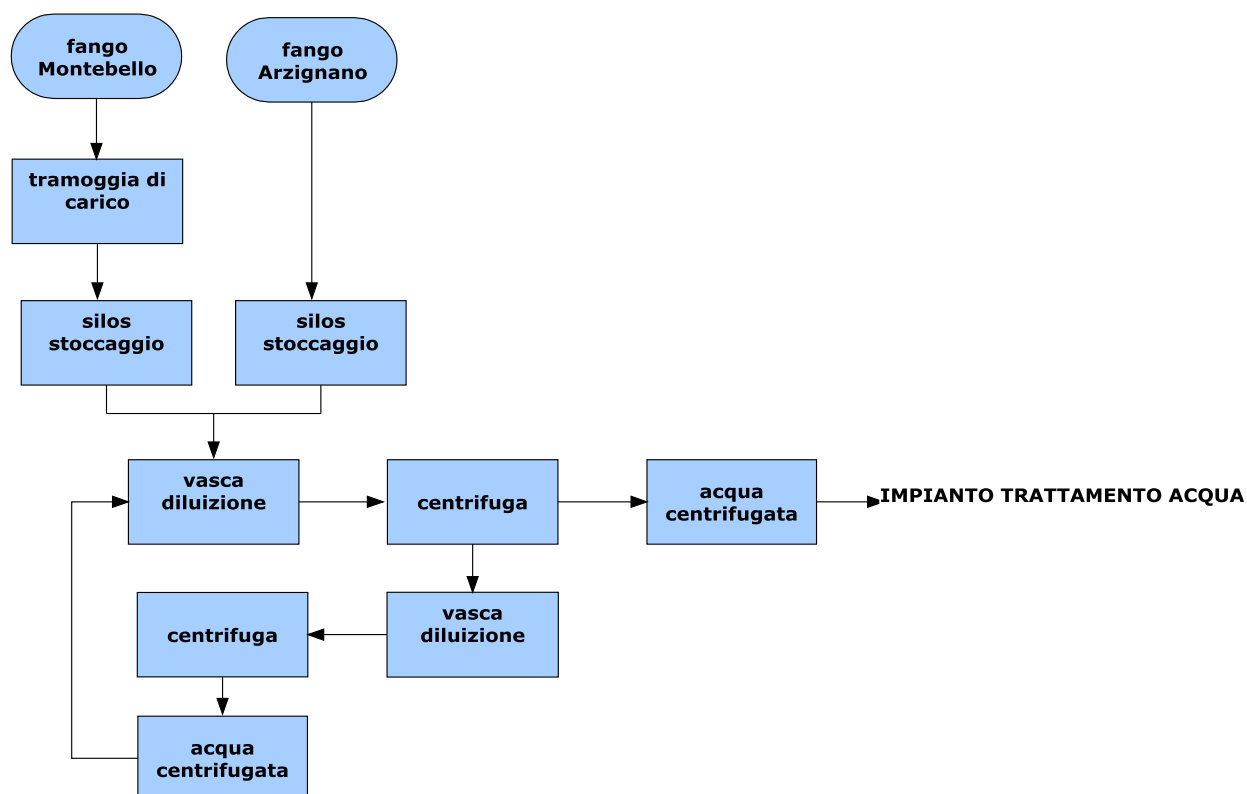
dell'unità A200 dovrà sempre, preferibilmente, essere alla sua massima capacità per massimizzare il recupero di energia nella forma di energia elettrica.

Rifiuti diversi dai fanghi possono essere trattati a certe condizioni:

- a) I grigliati possono essere gestiti dal processo Aqua Critox ® partendo dal presupposto che questi possano essere efficacemente ridotti in dimensioni <150 micron e distribuiti uniformemente nel flusso di fango generale.
- b) I solventi esausti possono essere trattati facilmente dal processo Aqua Critox ® .

La proposta prevede una fase di pretrattamento e tutti i processi ausiliari necessari per la riduzione dei cloruri presenti prima del trattamento dei fanghi nell'impianto Aqua Critox ®. Alti livelli di cloruri possono causare difficoltà per tutti i processi termici; la fase di riduzione di cloruri nel fango proposta consiste in un semplice lavaggio del fango utilizzando attrezzature standard di disidratazione. Questo processo, descritto in dettaglio nello schema che segue, è dimensionato sulla base dei risultati dei test di lavaggio ottenuti dai campioni di fanghi provenienti da entrambe le unità. L'attuale processo è un adattamento del processo standard di ridissoluzione fanghi utilizzato frequentemente nei siti centralizzati di trattamento fanghi.

LAVAGGIO FANGO



Più in dettaglio, i fanghi disidratati (al 25% di SS) vengono lavati con acqua in due stadi seguiti da centrifugazione per ottenere un fango al 16% a basso contenuto di cloruri. Dal lavaggio cloruri si

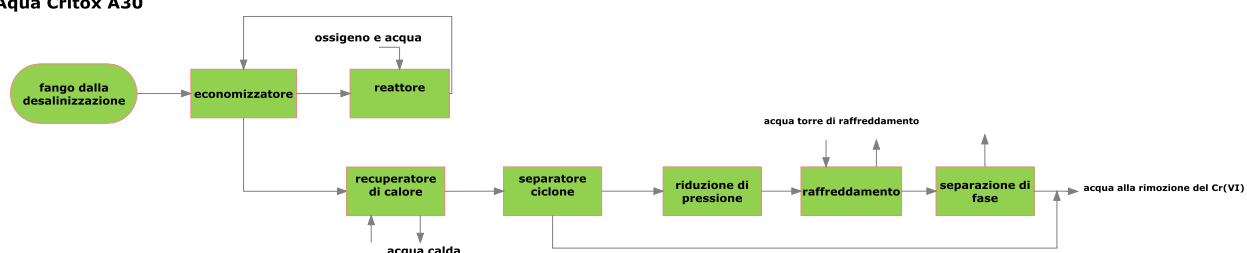
scaricano circa 90 m³/h di acqua con una concentrazione di Cloruri <450 mg/L, che corrisponde a 1,5% dello scarico complessivo di Arzignano.

Un vantaggio non trascurabile deve essere tenuto in seria considerazione: l'impianto viene alimentato con fango al 16% SS e pertanto si può utilizzare il fango all'uscita dalla disidratazione con un contenuto di secco attorno al 27,5% SS per Arzignano e per Montebello attorno al 25% SS. Ne deriva un risparmio energetico notevole per il mancato essiccamento dei fanghi.

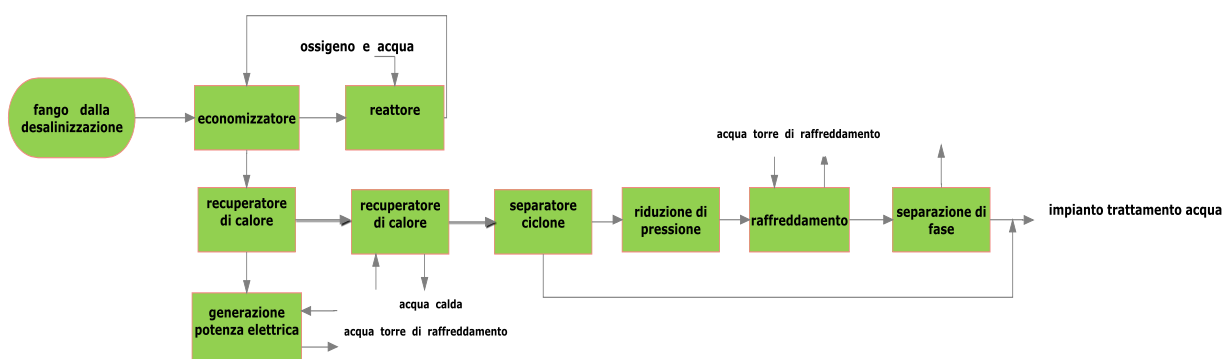
La fase successiva di trattamento vero e proprio è illustrata nello schema che segue.

Schema del trattamento termico

Aqua Critox A30



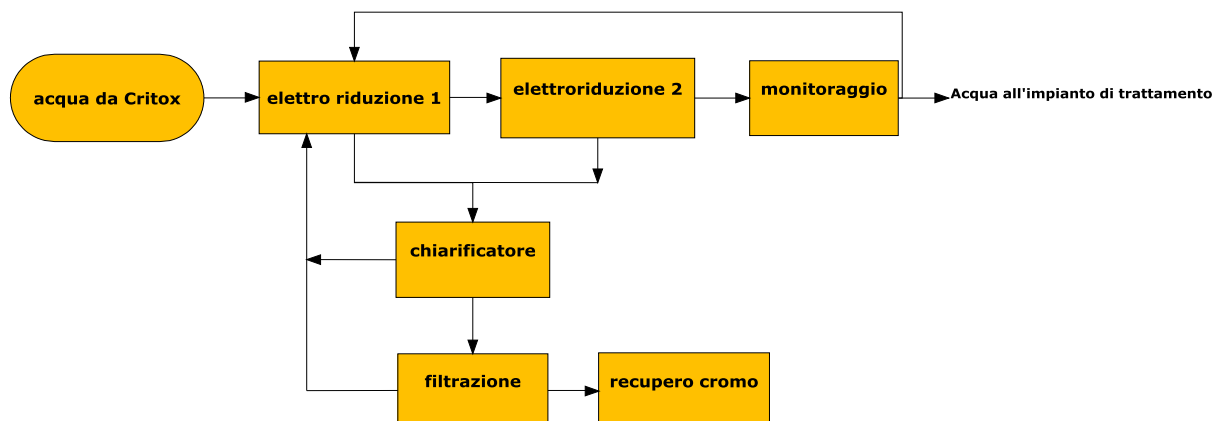
Aqua Critox A100 & 200



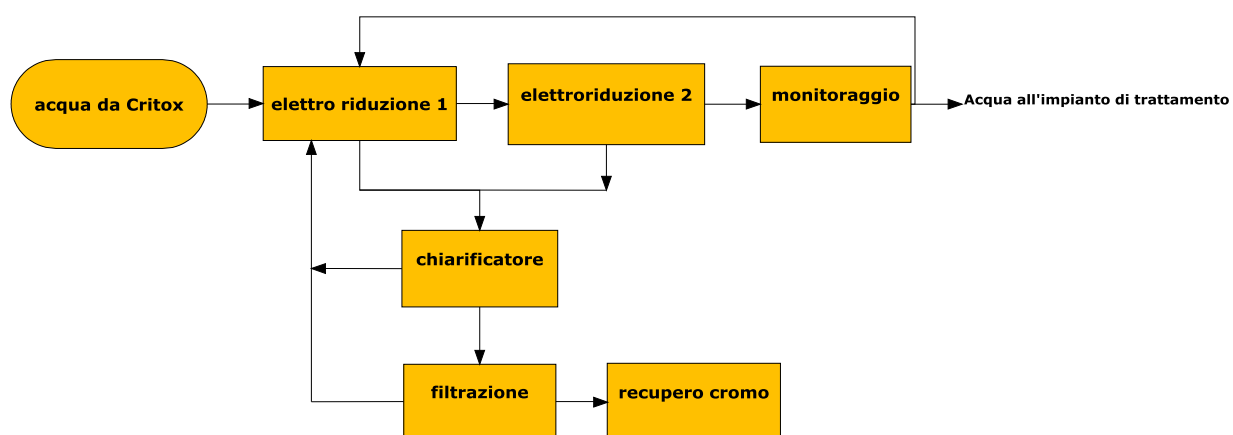
Il fango dopo macinazione viene alimentato al reattore di ossidazione per il trattamento con ossigeno in condizioni supercritiche ($T > 374^{\circ}\text{C}$, $P > 22,1 \text{ MPa}$) da cui si produce CO_2 , H_2O , N_2 e SO_4 . All'uscita del reattore il gas viene depurato mediante un ciclone per separare il liquido trascinato che viene alimentato, assieme al liquido trattato, al sistema di elettrocoagulazione per la riduzione del Cr(VI) a Cr(III). Segue la separazione del residuo inorganico rimasto dall'acqua mediante chiarificazione e filtrazione. Nell'elettrocoagulazione finale la riduzione del Cr(VI) a Cr(III) viene effettuata mediante ioni ferrosi prodotti dalla dissoluzione di anodi di ferro.

Schema unità di elettrocoagulazione

Riduzione Cr(VI)



Riduzione Cr(VI)



La completa conversione di S in SO_4 , nel reattore di ossidazione, comporta la formazione di 7,56 t/d di SO_4 , che con uno scarico di 45 000 m^3/d , corrisponde ad un aumento di 168 mg/L allo scarico di Arzignano. Questo è un serio problema data la nota difficoltà dell'impianto di rispettare, già attualmente, i limiti allo scarico. SCFI ha proposto un innovativo sistema di riduzione dei solfati basato sull'impiego di calcio alluminato contenuto nel cemento Portland.

Non sono previsti combustibili ausiliari. Il calore generato dal processo viene recuperato parte come energia elettrica attraverso un ciclo a vapore e parte come acqua calda.

Nel caso dell' A100/A200, il primo stadio di raffreddamento è realizzato usando un generatore di vapore che raffredda il flusso effluente recuperando l'energia sotto forma di vapore. L'effluente entra nel generatore di vapore $> 380^\circ\text{C}$ ed esce a $< 150^\circ\text{C}$; il vapore generato viene utilizzato in un ciclo Rankine per la produzione di energia elettrica.

SCFI ha incluso un ulteriore scambiatore di calore per generare LPHW (acqua calda a bassa pressione). La quantità di LPHW totale dagli skid combinati A100/A200 sarà nel range di 55 – 65 m^3/h a 70°C . Un sistema automatico successivo alla generazione di acqua calda a bassa pressione riduce la temperatura effluente a $< 50^\circ\text{C}$. Questa fase utilizza l'acqua come mezzo di raffreddamento.

Dove l'acqua disponibile non è sufficiente per il raffreddamento, un sistema a torri di raffreddamento può essere fornito e questo viene incluso come un costo opzionale. Il condensatore finale è costruito in acciaio inossidabile.

In entrambi i casi il dispositivo di raffreddamento finale è un dispositivo automatico a bassa pressione situato dopo l'unità di depressurizzazione.

I materiali di costruzione (MOC) per i sistemi dei reattori e economizzatori sono in Alloy (INCONEL) 625 , o 316L , rivestiti come da necessità. In caso contrario, le parti bagnate sono in acciaio inossidabile 316L e le parti non-bagnate sono acciaio inossidabile 304.

Il materiale di costruzione per tubazioni delle utilities (vapore, condensato, acqua Torre) nell'ambito della fornitura, saranno in acciaio al carbonio.

Tutti gli equipaggiamenti dei sistemi Aqua Critox® ad alta pressione sono costruiti secondo le direttive PED e marcati CE. Pressione, variazione di pressione e temperature di processo vengono costantemente monitorate in tempo reale e variazioni al di fuori dei limiti predefiniti generano un'automatica inversione di flusso ad acqua o spegnimento , in relazione alle condizioni.

L'impianto è protetto da valvole di sicurezza a pressione e questo è spiegato nella descrizione del processo.

L'impianto include acqua di "quenched" in automatico per il controllo della temperatura sia durante le normali operazioni e condizioni di emergenza. Nel caso di una rapida perdita di pressione, il sistema automaticamente si porta a flusso d'acqua e l'erogazione di ossigeno viene intercettata. Il volume reale di processo nel sistema è molto piccolo e di conseguenza ogni rilascio in ambiente è limitato.

L'impianto viene saldato quasi completamente con un minimo numero di giunti flangiati per ridurre il rischio di perdite. Una bassa portata d'ossigeno può generare idrogeno e conseguentemente un eccesso di ossigeno viene mantenuto sempre per prevenire la formazione di ambiente combustibile nel serbatoio finale di ricevimento dei liquidi.

Di questa tecnologia esiste e funziona l'impianto pilota di Cork (Irlanda) dove sono state fatte le sperimentazioni pilota; nella stessa località è in fase di costruzione un impianto industriale la cui dimensione corrisponde al più piccolo modulo proposto (A30).

Valutazione delle tecnologie

Premesse

Alla commissione è stato chiesto di esprimere un giudizio sulle tecnologie esaminate. Le proposte pervenute hanno un grado di approfondimento non omogeneo, e pervengono da soggetti con differenti esperienze specifiche sul fango da trattare e diverso background ingegneristico. Alcune proposte risultano più approfondite di altre sulla materia recuperi termici che, per quanto riguarda il costo finale del sistema ed il costo di gestione, ha un'importanza rilevante; analogamente per quanto riguarda le tecniche proposte per la purificazione dei gas prodotti.

Certamente in questa sede non si poteva pretendere un approfondimento ingegneristico particolare; la Commissione ha cercato di estrapolare, dalle informazioni fornite, considerazioni sulla validità ed efficacia del processo proposto, considerando che in sede di ingegneria di dettaglio tutti gli aspetti accessori, non tipici cioè del processo, possano essere opportunamente ottimizzati.

Va anche detto che per la maggior parte dei processi proposti sono state svolte campagne sperimentali di durata e dimensione diverse, in particolare:

- A.1. PyroArc®: sono state alimentate circa 200 t di fango essiccato provenienti dal depuratore di Arzignano durante un mese di test continui su un impianto di scala industriale;
- A.2. ThermoEcoFan (T.E.F): nessuna sperimentazione;
- B.1. Isotherm pwr®: sono state alimentate circa 30-40 t di fango tra essiccato e disidratato provenienti dal depuratore di Arzignano, in differenti campagne in un reattore a scala di prototipo;
- B.2. AquaCritox® sono stati alimentati circa 500 kg di fango essiccato provenienti dal depuratore di Arzignano, in due giorni di test in un reattore sperimentale.

Questo significa che le performance dichiarate dalle ditte sono variamente basate su risultati sperimentali a seconda dell'importanza della campagna condotta e conseguentemente verificabili; per ThermoEcoFan (T.E.F) (Eurosistemi) non esiste riferimento o riscontro sperimentale.

Dall'analisi dei documenti che ogni singolo relatore ha condotto, la successiva esposizione alla commissione seguita da dibattito e la formulazione di richieste di approfondimento alle Ditte, con relativa integrazione di documentazione, ne sono state tratte le seguenti valutazioni, distinte per aspetti processistici, impiantistici, ambientali ed economici.

Le tecnologie a confronto – i processi

Le soluzioni impiantistiche proposte si basano su processi distinti. Benché si possano raggruppare, come detto, fra processi in carenza o in eccesso di ossigeno, i secondi sono troppo diversi per poter essere analizzati in forma comparata. Solo i due processi di gassificazione (carenza di ossigeno) hanno elementi in comune che possono essere confrontati più dettagliatamente.

Nel seguito vengono riassunti in modo sintetico i rilievi, a favore o sfavore, emersi dall'analisi della documentazione e dalla discussione in sede di Commissione. Laddove possibile, vengono formulati commenti comparativi.

Processi in carenza di ossigeno

A questa categoria appartengono i processi PyroArc e ThermoEcoFan. Entrambi prevedono la scomposizione del fango essiccato, per effetto termico in carenza di ossigeno, in componenti volatili e residui solidi vetrificati. Questa scelta garantisce intrinsecamente sulla formazione di Cr(VI), poiché prevalgono condizioni riducenti lungo tutto il processo.

PyroArc, a differenza di ThermoEcoFan, richiede un pretrattamento di bricchettatura del fango essiccato, che è disponibile in polvere piuttosto fine. L'utilità di questa trasformazione è connessa alla tecnologia da loro proposta del forno a tino, all'interno del quale il fango discende lentamente con un battente significativo. La compattazione serve quindi a controllare la velocità di decomposizione, sostenere i carichi, facilitare lo scorrimento del letto e la permeazione dei gas prodotti, limitare la formazione e quindi ritrascinamenti di polvere. Per ottenere un pretrattamento efficace è tuttavia necessario che il fango abbia un grado di secco sufficiente (stimato in circa 85% di sostanza solida). La principale controindicazione di gradi di secco inferiori è l'evaporazione flash nell'acqua residua nella matrice solida con fessurazioni nelle compresse e possibile rilascio di polveri. Per utilizzare questa tecnologia è quindi necessario che il depuratore di Montebello

incrementi il grado di essiccazione di qualche punto percentuale in modo che i loro fanghi, miscelati in proporzioni corrispondenti alla produzione con quelli di Arzignano, rientrino nei parametri accettabili. Si ritiene che le eventuali modifiche o adeguamenti necessari agli impianti di Medio Chiampo per conseguire un grado di secco di poco superiore siano tecnicamente realizzabili, eventualmente a fronte di investimenti aggiuntivi, non particolarmente incidenti economicamente in raffronto ai costi di un intero impianto di trattamento termico dei fanghi, come quelli qui discussi. Poiché esistono forti analogie fra gli impianti di essiccazione installati nelle due sedi, l'obiettivo è ritenuto raggiungibile.

La forma di alimentazione prospettata da PyroArc permette facilmente di utilizzare lo stesso impianto per altre forme di rifiuti *solidi* industriali che gravitano ordinariamente intorno agli impianti consortili (bancali e residui di lavorazione da concia).

Per contro, ThermoEcoFan utilizza del fango essiccato tal quale, senza particolari vincoli sul grado di essiccazione. Questi vengono alimentati sulla suola rotante dove progrediscono lentamente e con rimescolamenti mediante coclea fino al punto di uscita. Benché in questo modo i tempi di residenza possano diventare estremamente lunghi, spingendo la decomposizione, i tecnici nella commissione si sono interrogati sul ripetuto riferimento alla possibilità, evidentemente non trascurabile, di carbonio residuo nelle ceneri in uscita. Questa si configurerebbe come una perdita netta di energia ed una richiesta di efficace stabilizzazione nella successiva vetrificazione per garantire inerzia del residuo solido.

A differenza di PyroArc, per altri rifiuti solidi industriali sono necessari pretrattamenti di riduzione a cippato prima di essere alimentati.

La struttura del forno a suola rotante di ThermoEcoFan, a giudizio di alcuni tecnici, determina consistenti volumi di syngas (gas tossico e infiammabile) nel forno stesso. Solleva qualche perplessità anche l'utilizzo di un riscaldamento mediante bruciatori stechiometrici metano/ossigeno in quanto sbilanciamenti nella regolazione potrebbero determinare condizioni localmente ossidanti all'interno del forno, peraltro l'ambiente riducente garantisce la reversibilità della reazione.

In base anche a considerazioni successive, sulla possibilità di alimentare rifiuti liquidi, se ne conclude che il processo ThermoEcoFan è il più flessibile per quanto riguarda la varietà di rifiuti industriali utilizzabili, laddove il PyroArc, pur essendo molto versatile anch'esso, è penalizzato dal grado di secco minimo richiesto ai solidi.

Per entrambi i processi l'utilizzo di fango essiccato è un'agevolazione per quanto riguarda la localizzazione dell'impianto poiché riduce i costi e i volumi di trasferimento fra impianti. La forma bricchettata sarebbe ancora più favorevole ad eventuali trasferimenti. Per contro, la localizzazione dell'impianto lontano dagli essiccatori impedirebbe profittevoli integrazioni energetiche.

Entrambi i processi vetrificano i residui solidi dopo il trattamento termico ma PyroArc realizza questa trasformazione nello stesso reattore di gassificazione mentre ThermoEcoFan prevede una camera (reattore) indipendente, ma direttamente connessa, senza possibilità di disaccoppiamento. Questo rende entrambe le soluzioni egualmente vulnerabili a difficoltà su uno stadio che impattino anche sul seguente o precedente. L'esperienza di PyroArc a riguardo suggerisce che anche uno scarico discontinuo del fuso non comporti disagi e discontinuità significative allo stadio gassificazione. Non ci sono analoghe rassicurazioni per il processo ThermoEcoFan, la cui tecnologia di vetrificazione non è chiaro se sia già nel portafoglio aziendale. Viene rilevato dai tecnici che la

vetrificazione, un processo ad alta temperatura (circa 1 500°C) , può comportare attenzioni impiantistiche non secondarie, legate anche alla durata dei refrattari.

E' per contro confermato che la strada della vetrificazione è la più sicura per l'immobilizzazione dei metalli pesanti fra cui il Cr, tanto che è comune a tre delle quattro proposte. L'efficacia è subordinata alla capacità di convogliare tutti i residui inorganici nelle ceneri e da questo punto di vista si differenziano le tecnologie che vedono la strada della pellettizzazione proposta da PyroArc avvantaggiata rispetto all'utilizzo di fango in polvere nella camera di gassificazione (con la possibilità di ritrascinamenti) ed a maggior ragione della precipitazione da una corrente gassosa (processo Isotherm PWR). Il residuo vetrificato comporta un importante guadagno in densità, estremamente importante per il successivo conferimento in discarica.

Entrambi i processi producono miscela di gas in cui prevalgono di larga misura CO + H₂ (syngas). Questo significa veicolare un gas fortemente tossico (CO) ed uno estremamente infiammabile (detonante, H₂). La tecnologia per la loro manipolazione in sicurezza è ampiamente nota nell'industria chimica ed entrambi i proponenti ne sono consapevoli. A questo va aggiunto che solo PyroArc prevede un accumulo intermedio, ma di volume modesto e le quantità istantaneamente presenti nell'impianto sono relativamente limitate.

Le capacità dei reattori di gassificazione in entrambi i casi comportano una inerzia all'arresto in caso di emergenza relativamente lunga.

La dipendenza da combustibili aggiuntivi è ridotta al minimo nel caso di PyroArc, dove viene prevista un'integrazione al basso potere calorifico dei fanghi con coke, in buona parte sostituibile da altri rifiuti ad alto potere calorifico (ad esempio bancali). Non così per il processo ThermoEcoFan che propone l'utilizzo di bruciatore a metano per trasferire al fango il calore necessario. In aggiunta la dipendenza da combustibili è inesistente nel caso di PyroArc, che impiega aria, mentre ThermoEcoFan, come altre proposte, richiede l'uso di ossigeno industriale. Questo alza i costi, richiede un ulteriore impianto di impatto non secondario e aggiunge una ulteriore dipendenza al processo (e quindi vulnerabilità), per contro riduce il volume delle emissioni in quanto l'aria si trascina l'azoto che è inerte sul processo.

Entrambi i processi prevedono un secondo stadio di reazione in fase di gas ad alta temperatura. Per PyroArc l'innalzamento di temperatura e la maggiore reattività vengono conferite interponendo una torcia al plasma fra gassificatore e reattore secondario. Si tratta di una soluzione energeticamente costosa ma estremamente efficace per decomporre tutte le molecole organiche più complesse che possono prodursi nella decomposizione in carenza di ossigeno. La successiva camera di reazione fornisce un tempo di residenza adeguato per il completamento delle reazioni che a queste temperature sono comunque estremamente rapide. Diversamente il processo ThermoEcoFan reinnalza la temperatura ancora con bruciatori a metano/ossigeno, spingendo la gassificazione dei residui carboniosi residui con l'iniezione di vapore, favorevole ad incrementare il contenuto di CO e H₂. Questa seconda soluzione, senz'altro più favorevole alla riduzione del particolato organico trasportato con il vantaggio di arricchire ulteriormente il syngas, appare un presidio meno drastico della torcia al plasma.

Va inoltre sottolineato che questo secondo reattore in fase omogenea si presta molto bene alla distruzione per gassificazione di ulteriori rifiuti liquidi (solventi esausti).

Nonostante le alte temperature e il doppio stadio entrambi i processi non sono in grado di trattenere, fino a questo punto, composti inorganici volatili. Inoltre le condizioni riducenti favoriscono la formazione di H₂S,

HCN, HCl, COS. Entrambi i processi propongono quindi raffreddamenti (quench) e lavaggi (neutri e basici) molto simili fra di loro e che ripercorrono tecnologie consolidate. La commissione ha sollevato preoccupazione per l'efficacia degli stadi di abbattimento di H₂S e i possibili rapidi accumuli di incrostazioni di sali volatili nelle unità di raffreddamento. Entrambe le società hanno rassicurato sulla possibilità di calibrare l'efficienza di questi stadi per evitare funzionamenti discontinui o eccessivi carichi sulle acque reflue.

È parso ai tecnici della commissione che il trattamento fumi proposto da PyroArc si avvantaggi di esperienze specifiche di SICIT sul campo, per correnti simili.

Entrambi i processi prevedono una torcia di emergenza per distruggere il syngas prodotto (insieme ad eventuali sottoprodotti) durante situazioni di funzionamento anomalo, posto che entrambi i gassificatori hanno una certa inerzia allo spegnimento.

Rimane per entrambi da chiarire il destino dello zolfo e del cloro, che dovrebbero prevalentemente accumularsi nei fanghi da trattamento acque di lavaggio che, nel processo PyroArc, verrebbero inertizzati con cemento. Si ritiene tuttavia che questo sia un aspetto ottimizzabile e non critico. Al riguardo la proposta ThermoEcoFan include, in un aggiornamento, un'unità di recupero zolfo. PyroArc non prevede questa unità; considerato peraltro che proprio SICIT CHEMITEC, proponente il processo, ha supportato Acque del Chiampo nell'implementazione di un'unità analoga nell'ambito dell'impianto di depurazione, si ritiene che potrebbe facilmente inserirla nel caso fosse evidente la necessità di questo stadio.

I due processi di gassificazione, basati su tecnologie diverse, si completano proponendo soluzioni diverse di recuperi di energia, corrispondenti a diverse ipotesi formulate dai proponenti sullo scenario ottimale. Il processo ThermoEcoFan ottiene energia elettrica solo dai motori alimentati dal syngas depurato. PyroArc aggiunge a questa possibilità la produzione di energia elettrica mediante turbina, parte di un ciclo Rankine in cui il fluido vettore è organico (invece che vapore) che raccoglie flussi di energia termica da vari punti dell'impianto. Ciononostante, il processo PyroArc produce ancora una grossa quantità di energia termica sotto forma di calore a bassa temperatura sfruttabile solo in applicazione di teleriscaldamento. L'effettivo sfruttamento di questa ulteriore risorsa è tuttavia condizionato alla collocazione l'impianto. Queste opzioni complicano indubbiamente il processo PyroArc, ma lasciano aperta la domanda di dove dissipare tutta l'energia termica il processo ThermoEcoFan, anche in considerazione che quest'ultimo introduce una consistente parte di ulteriore energia attraverso combustibile aggiuntivo (metano).

Va rilevato che un oculato sfruttamento delle correnti a bassa temperatura potrebbe trasformarsi in un rapido ritorno dell'investimento, come prospettato da PyroArc in alcuni costi estimativi.

Per entrambi i processi di gassificazione una corretta integrazione energetica con gli stadi di essiccazione, ed in ogni caso all'interno del processo di trattamento termico dei fanghi, è cruciale poiché partono già penalizzati dal punto di vista termico per i significativi costi pagati nello stadio di essiccazione.

A giudizio dei tecnici della commissione, questi processi, dipendenti da una preliminare essiccazione, potrebbero integrarsi con quest'ultima per abbattere significativamente i costi energetici. Quest'ipotesi non è stata presa in considerazione da nessuna società poiché richiede un'integrazione, anche spaziale, con gli impianti esistenti, definibile solo ad uno stadio più avanzato di ingegneria, per quanto va tenuto presente che gli impianti di essiccazione sono già presenti negli impianti di depurazione e non facilmente integrabili dal punto di vista energetico.

Una soluzione alternativa di recupero di energia prospettata dal processo ThermoEcoFan è l'utilizzo di syngas all'interno dei bruciatori stessi di gassificazione. Il vantaggio del minor costo per combustibili aggiuntivi va valutato in relazione alla mancata o ridotta produzione di energia elettrica (cioè certificati verdi) che questa soluzione comporterebbe.

Nella soluzione proposta il processo ThermoEcoFan produce vapore a circa 10 bar, le cui utilità nel contesto dell'impianto depurazione è dubbia, poiché la sua temperatura è troppo bassa per essere impiegata nei processi di essiccazione.

I due processi di gassificazione, come evidenziato altrove, portano al maggior grado di riduzione volumetrica dei residui da conferire in discarica. A questo si aggiunge che entrambi hanno la forma di vetrificati, con un tasso di cessione pressoché trascurabile, benché questa non sia una caratteristica distintiva dei processi di gassificazione, ma è proposto anche da un processo di ossidazione.

Un ulteriore elemento a favore è il ridotto volume di gas nell'impianto, dovuto proprio al fatto di lavorare in carenza di ossigeno. Per PyroArc il vantaggio è inferiore, in termini di volume di gas movimentati, in quanto la parziale combustione del gas per sostenere la reazione avviene con aria e non con ossigeno come per ThermoEcoFan, per quanto i quantitativi siano ancora largamente inferiori rispetto ai processi di ossidazione con aria (tipicamente inceneritori, o altre tecnologie simili, ma che non rientrano tra le proposte qui esaminate). Va precisato che se il gas di sintesi prodotto viene poi utilizzato in motori a combustione interna, che aspirano aria dall'ambiente per fornire l'ossigeno, le emissioni finali in atmosfera crescono nuovamente in volume. Inoltre i processi di gassificazione richiedono tutto lo stadio di essiccazione, che comporta proprie emissioni in atmosfera.

Per finire va ricordato che il processo PyroArc è stato impiegato con indiscusso successo per quest'applicazione specifica per un tempo più che rappresentativo, seppur con un impianto meno articolato di quello proposto. La stessa tecnologia (a meno della torcia e degli stadi di pulizia del gas) è stata realizzata ed impiegata sempre su residui della industria della concia anche in Inghilterra. Secondo alcuni tecnici della commissione tuttavia i processi di gassificazione sono intrinsecamente più complessi e difficilmente gestibili, aspetti che ne hanno determinato uno scarso successo commerciale. A questo va aggiunto che il processo ThermoEcoFan è una ragionata estensione per analogia di esperienze precedenti della società molto positive, su fanghi di trattamento acque industriali, ma non di questo tipo, sui quali non c'è un'esperienza specifica dei proponenti.

Le maggiori criticità del processo ThermoEcoFan in rapporto a PyroArc sembrano concentrarsi nel carbonio residuo delle ceneri, nella possibilità di sfuggita di organici volatili importanti, nel basso recupero energetico proposto. Tutti aspetti approfonditi nella campagna sperimentale che hanno portato allo sviluppo del processo PyroArc.

L'ipotesi prospettata nel processo ThermoEcoFan di recuperare CO₂ per usi interni (raffreddamento bruciatori) non sembra un fattore strategico e neppure impiantisticamente giustificabile.

Processi ossidanti

Proposta Itea con processo Isotherm PWR®

Il processo Isotherm PWR si presenta molto più semplice dei processi di gassificazione grazie al trattamento in condizioni più severe, dovute all'ambiente ossidante ed all'elevata temperatura, che rende gli stadi di depurazione meno critici. La semplicità è ancora maggiore se si considera che può partire direttamente da fango disidratato, se necessario neppure in modo estremo (il processo proposto assume il grado di secco medio del 26,8% del disciplinare).

Come detto in precedenza, questo processo prevede la distruzione termica di una sospensione di fango in liquidi (prevalentemente acqua) in un combustore ad ossigeno puro progettato per operare a temperatura uniforme, elevata, favorendo la precipitazione dei composti inorganici non volatili e convertendo tutta la frazione organica in CO₂ e H₂O. I prodotti di combustione cedono calore ad un ciclo Rankine a vapore con turbina, per la generazione di energia elettrica, prima di essere raffreddati negli stadi di trattamento per la rimozione degli eventuali residui presenti in tracce (prevalentemente metalli volatili e i loro ossidi).

Il processo contiene elementi originali, principalmente concentrati sul combustore:

- ossidazione senza fiamma, ottenuta operando in pressione e con un'opportuna struttura di ricircolazione interna. Garantisce una grande uniformità di temperatura all'interno del forno, evitando che zone a temperature molto diverse abbiano decorsi inattesi e conservando condizioni favorevoli alla forma trivalente del Cromo;
- la presenza di SO₂ (anidride solforosa) e P₂O₅ (anidride fosforica) nel reattore garantisce un pH non alcalino che, insieme ad una temperatura elevata, comporta presenza di solo Cromo in forma trivalente nelle ceneri;
- nucleazione di gocce di solidi fusi che operano come aggregatori della componente inorganica (metalli, fra cui Cr). Questi si raccolgono in forma fusa dal fondo del reattore;
- possibilità di operare direttamente sul fango disidratato, eliminando l'energivoro stadio di essiccazione.

Questi stessi vantaggi, ancorché da dimostrare con prove di lunga durata, sono anche punti di vulnerabilità. Gradienti di temperature in prossimità dello scarico possono favorire la formazione di composti indesiderati (si pensa anche Cr(VI)); discontinuità nell'alimentazione dei promotori di nucleazione (detti 'fondenti') comporterebbero un'inesorabile transizione di particolato alla caldaia e successivo trattamento fumi, non dimensionato per depurazioni così gravose. Va aggiunto che gli additivi 'fondenti' sono anche reagenti costosi, la cui reperibilità sul mercato ai quantitativi richiesti potrebbe incorrere in temporanee difficoltà ovvero forti fluttuazioni di costo.

Variazioni nel grado di secco dell'alimentazione possono portare a difficoltà nella ottenimento di condizioni ottimali, posto che la quantità di acqua alimentata condiziona la temperatura nel combustore.

La mancanza dell'essiccazione comporta la necessità di fornire nel forno l'energia per evaporare l'acqua ancora presente nella torbida, operazione che viene attualmente fatta nei forni di

essiccazione. Ma contrariamente a quest'ultimi, il processo Isotherm PWR recupererà gran parte di questa energia a valle del combustore per produrre energia elettrica.

D'altro lato, questo significa evaporare con una sorgente di calore a temperatura molto elevata (scambio termodinamicamente costoso), ottenuta con una fiamma ad ossigeno puro. La richiesta di ossigeno dichiarata è molto elevata (circa il doppio, in termini massivi, rispetto al fango secco introdotto, pari a 285 t/d di O₂ al 100% per 140 t SS/d di fango, poiché serve anche per la combustione dell'olio pesante). Questa portata di O₂ richiede due produttori, poiché uno solo sarebbe di dimensioni non standard. A questo si aggiungono significativi apporti di altri combustibili fossili, per autosostenere il processo, a compensazione dei risparmi sul metano altrimenti impiegato negli essiccatori.

La produzione di energia elettrica avviene con un ciclo a vapore che richiede dissipazione di calore a bassa temperatura in quantità ingenti. Come per altri processi, l'ulteriore sfruttamento di queste correnti conferirebbe interessanti margini di compensazione economica. Al contrario, la dissipazione in atmosfera può dare un impatto non trascurabile, ma questo argomento vale tutti gli altri processi.

Un'opzione di questo processo, non formalizzata ma anticipata in certa corrispondenza, è il recupero della CO₂. A differenza di altri processi, in questo caso è presumibile che la si possa recuperare ad un maggior grado di purezza e con minori difficoltà, stante la concentrazione e i livelli molto bassi di sostanze organiche complesse (diossine e furani), garantendo un valore commerciale adeguato. Dalle sperimentazioni anche le polveri sottili nelle emissioni sembrano in concentrazioni molto basse, grazie alla tecnologia di nucleazione e captazione mediante fondenti.

Il processo Isotherm PWR ha quindi degli indubbi vantaggi (fra cui si ricorda: integrazione della fase di essiccazione, cattura dei metalli pesanti e polveri fini nella camera di combustione in fase gas, significativa produzione di energia elettrica anche grazie al vapore prodotto dai fanghi, residui solidi vetrificati, compattezza) che la Commissione non ha ritenuto sufficientemente dimostrati per residui solidi sospesi in liquidi, mentre sembra che l'esperienza sia soprattutto su reflui liquidi. Come detto, le indicazioni delle sperimentazioni sono positive, ma discontinue.

Inoltre, i parametri di progetto dell'unità principale (carico specifico di fango ovvero il tempo medio di residenza) sono significativamente più severi nella proposta progettuale rispetto a quelli utilizzati nelle sperimentazioni. Lecite le preoccupazioni emerse nella discussione fra i tecnici su potenziali difficoltà ad alti flussi sull'alimentazione: conversioni minori, difficoltà di alimentazione, regolarità nello scarico delle scorie, possibilità di produzione di polveri. Tutti aspetti che hanno quasi certamente una soluzione ottimale dopo una fase di messa a punto, a meno del rischio di sottodimensionamento, per recuperare il quale potrebbero essere necessarie significative aggiunte di spazi ed investimenti.

L'utilizzo di fango disidratato è un vantaggio nella semplificazione della catena di trattamenti e anche in una ottica di delocalizzazione dell'impianto, per la maggiore facilità con cui potrebbe essere trasferito mediante linee fisse. Per contro, discontinuità nell'impianto che portassero a fermate di lungo termine richiederebbero un volume di stoccaggio molto maggiore rispetto al fango essiccato. Inoltre l'alimentazione del fango disidratato non sembra esente da imprevisti e le sperimentazioni effettuate finora hanno privilegiato fango essiccato risospeso in acqua con opportuni

fluidificanti, per garantire continuità nell'alimentazione. Questi aspetti impiantistici verranno maggiormente evidenziati nella sezione dedicata. È tuttavia evidente che il processo Isotherm PWR non può accettare altri rifiuti solidi, come richiesto dal disciplinare, a meno di costose operazioni di sminuzzamento per raggiungere i limiti dimensionali indicati per il particolato (2.5mm). Si presta perfettamente al trattamento di altri rifiuti liquidi ad alto potere calorifico (solventi esausti), da cui ne trarrebbe vantaggio in termini di riduzione del quantitativo di combustibili aggiuntivi.

La funzione di riduzione e densificazione del rifiuto risulta ben soddisfatta dal processo di coagulazione e raccolta, sul fondo del forno, della componente inorganica fusa che viene in questo modo vetrificata ottenendo una matrice densa e stabile. Anche in questo caso la soluzione è ottimale, ma con carichi elevati la configurazione del forno deve assicurare una regolare scarico del vetrificato.

Proposta SCFI con processo AquaCritox®

La tecnologia proposta da SCFI, pur appartenendo ai processi di ossidazione, merita una discussione a parte per le condizioni particolari in cui viene svolto il processo di ossidazione. L'originalità consiste nel condurre le reazioni di ossidazione (con O₂ puro) in condizioni tali da operare con un fluido che ha una densità comparabile al liquido. Questo stato, detto supercritico, viene raggiunto portandosi a pressioni molto elevate (>250 bar) con una temperatura mediamente elevata (circa 600°C). La tecnologia non è nuova, ma l'applicazione a reflui, liquidi o solidi, particolarmente refrattari non si è ancora diffusa. Anche per ragioni di costi, al momento è una tecnologia giustificabile solo per rifiuti organici liquidi ad alto potere calorifico tipici dell'industria chimica e farmaceutica. Va rilevato che si stanno diffondendo, anche in impianti civili nel Nord Italia, installazioni di un processo simile, ma operante in condizioni meno estreme (e quindi presumibilmente meno efficaci) denominato ossidazione a umido (wet-oxidation).

Sinteticamente, i vantaggi della tecnologia sono il confinamento dei reflui, le conversioni molto elevate ottenute a temperature relativamente basse (al costo di alzare la pressione), elevatissima solubilità dell'ossigeno in acqua in condizioni supercritiche, il crollo di solubilità delle componenti organiche che facilita la separazione dei residui.

Gli aspetti che i tecnici hanno ritenuto più critici sono legati alle condizioni particolarmente severe che si vengono a creare nel reattore, dove si temono processi di corrosione molto rapidi, che oltre a impattare sulla manutenzione (costi e discontinuità del servizio) potrebbero dare problemi di sicurezza. Va comunque precisato che eventuali cedimenti sul reattore porterebbero a rilasci non particolarmente preoccupanti poiché, dopo un'iniziale vaporizzazione istantanea di quantitativi relativamente ridotti si avrebbe un'immediata depressurizzazione e quindi uno sversamento di liquidi. Subordinatamente, va considerato che l'impianto ossida certamente una parte del cromo alla forma esavalente, come dimostrato in prove pilota. Questo tuttavia rimane confinato nel liquido ed è previsto uno stadio di riduzione con tecnologie note che, a meno di trascinalenti e conversioni parziali, elimina ogni potenziale emissione in atmosfera. Eventualmente, si potrebbe anche pensare ad un recupero del Cromo ridotto. Lo stadio di riduzione comporta anche un aumento della produzione di fanghi che, al termine del processo, hanno ancora un tenore di acqua molto alto (45% SS). Non viene prospettata una fase di essiccazione o filtrazione benché si ritiene che possa essere condotta con relativa facilità.

Proprio per limitare i rischi di corrosione il processo prevede uno stadio di lavaggio dei fanghi, per eliminare una parte dei sali. Questo stadio preoccupa per l'aumento dei carichi, sull'impianto di

depurazione acque, di componenti che si trasferirebbero direttamente allo scarico e dall'altro lato per la perdita di una componente inorganica già separata dalle acque e che si sarebbe atteso trasferire nel residuo solido inertizzato.

La dimensione dei moduli di trattamento (ossidazione) proposte per trattare l'intero quantitativo è molto sproporzionata. Tuttavia è evidente che corrisponde alla combinazione di moduli standard che la società ha previsto, che sommerebbe la potenzialità totale richiesta. Di questi moduli standard al momento risulta operativo solo il modulo più piccolo che è anche quello che viene proposto come prototipo per una prima installazione. Se da un lato questo permetterebbe di dare una piena dimostrazione della efficacia (e limiti) della tecnologia, la potenzialità estremamente ridotta (<3.8t/h di torbida a circa 16% SS) difficilmente lo configurerebbe come una unità utile a regime.

Dal punto di vista del processo questo impianto si inserirebbe perfettamente come ulteriore stadio nella catena di depurazione delle acque, poiché potrebbe essere direttamente connesso alle linee di separazione dal fango senza neppure procedere a disidratazione. In aggiunta l'impianto potrebbe processare anche fango già essiccato, risospingendolo in acqua. Per contro, è molto improbabile l'impiego per altri rifiuti solidi, a meno di una riduzione di pezzatura estrema, che potrebbe risultare non attuabile o sproporzionatamente costosa.

Naturalmente, richiedendo fango in acqua, renderebbe gli impianti di essiccazione attuali inutili, rientrando dai costi di esercizio, ma lasciando quelli di ammortamento. Va osservato che, contrariamente al processo Isotherm PWR, questo processo non supplisce all'essiccazione: gran parte dell'acqua inizialmente presente nella torbida rimane sotto forma di acqua liquida. Ciò implica anche la mancanza di ulteriori combustibili esterni poiché in questo caso si riesce a promuovere comunque l'ossidazione totale del fango.

Il processo ha il suo cuore nel reattore di ossidazione, alimentato con fanghi lavati in acqua e ossigeno puro. Il calore generato con l'ossidazione viene principalmente recuperato per preriscaldare l'alimentazione. Non sono previsti ulteriori recuperi sotto forma di energia elettrica per l'unità più piccola, ma solo come acqua calda a 70°, di scarso valore. Con le unità maggiori si prospetta la possibilità di recuperare calore in un generatore di vapore, parte di un modulo standard commerciale per generazione di energia elettrica con ciclo Rankine. Rimarrebbe in ogni caso una certa produzione di acqua calda ma con potenzialità limitate.

Il vantaggio di poter lavorare direttamente sui fanghi blandamente disidratati si trasforma in una preoccupazione per i volumi necessari allo stoccaggio dei fanghi prodotti nel caso l'impianto di trattamento abbia delle fermate prolungate.

Anche in questo caso i consumi di ossigeno richiederebbero un impianto di produzione dedicato per operare alla potenzialità piena.

Confronto su alcuni aspetti specifici

I processi sono molto eterogenei ed una comparazione puntuale è possibile solo per alcuni aspetti generali, come descritto nel seguito.

Aspetti energetici

Tutti i processi prevedono forme di energia in ingresso aggiuntive rispetto al contenuto portato dai fanghi. Queste possono avere la forma di combustibili di sostegno, energia elettrica o energia termica. Nella tabella 1 sono messi a confronto i consumi per ogni processo dedotti dalla

documentazione fornita. Non sono riportate le forme di energia che trovano compensazione all'interno del processo: con l'eccezione di AquaCritox, tutti i processi producono energia elettrica in misura pari o superiore alle necessità del processo stesso.

Tabella 1: risorse energetiche aggiuntive al fango ed equivalente in TEP/d

	PyroArc®	ThermoEcoFan	Isotherm Pwr®	AquaCritox®
quantità orarie	Coke: 0,5 t/h CH ₄ : 0,05 t/h	CH ₄ : 0,3 ÷ 0,642 t/h (secondo la EE voluta)	Gasolio: 0,058 t/h Olio BTZ: 1,197 t/h CH ₄ : 0,008 t/h	Energia elettrica netta: 0,5 MW O ₂ = 6,036 t/h (pari a 6,82 MW)
TEP/d	10,3	8,3 ÷ 17,7	32,8	32,9

Va osservato che il processo Isotherm PWR richiede un'importante aggiunta di combustibile aggiuntivo poiché utilizza fango solo disidratato, da cui rimuove anche l'acqua.

Più in generale vediamo che processi ossidanti hanno un costo in termini di risorse energetiche più elevata rispetto alle gassificazioni, ma non evidenziano il costo energetico dell'essiccazione che li precede. Inoltre, le diverse fonti energetiche utilizzate hanno unità di misura difficilmente comparabili. Per queste ragioni un confronto più coerente fra i costi energetici dei diversi processi richiede i) il conteggio dei costi di essiccamento, dove presente ii) unità di misura dei costi energetici commensurabili. Questo confronto è riportato in tabella 2. Tutte le richieste o produzioni di energia sono state riscalate alla potenzialità richiesta nel disciplinare (140 t/d di solido secco al 100%). I valori di processo rappresentano la differenza tra tutta l'energia immessa in qualsiasi forma (fango, combustibili ausiliari, energia elettrica,...) e quella resa (energia elettrica e termica), al netto dei consumi interni e delle dissipazioni. Per quanto riguarda i consumi energetici dell'essiccamento, si sono assunti i dati di funzionamento sull'ultimo anno dell'impianto di Arzignano, al meglio dei recuperi oggi possibili.

Tabella 2: consumo netto di energia dei diversi processi in MW per 140 t/d al 100%SS. Valori negativi indicano energia disponibile

	PyroArc®	ThermoEcoFan	Isotherm Pwr®	AquaCitrox®
Processo	-5	-3,81	-4,25	7,32
Essiccamento	13,44	13,44	0	0
Consumo netto	8,44	9,63	-4,25	7,32

Contabilizzando anche i costi di essiccazione ritroviamo che i processi di gassificazione sono sempre in deficit energetico (consumo netto positivo). Appare evidente dai risultati che l'iniziale marcato vantaggio energetico dei processi di gassificazione si perde se vengono inclusi i costi di essiccamento. Sarà possibile recuperarlo, almeno parzialmente solo nel caso che vi sia un'integrazione energetica fra i due impianti (gassificazione ed essiccamento). La quantità di energia che la gassificazione può effettivamente trasferire realmente all'essiccamento richiede una progettazione specifica che tenga conto delle caratteristiche degli impianti esistenti. Nelle proposte esaminate l'energia ottenuta è prevalentemente trasformata in elettrica (per massimizzare il ritorno dagli incentivi economici – peraltro legate a disposizioni normative attuali che potrebbero non mantenersi in futuro), senza recuperi sull'essiccamento; restano poi cascami di energia termica a bassa temperatura il cui sfruttamento andrebbe discusso in base anche alla collocazione

dell'impianto. Infatti, il quadro energetico delineato potrebbe nuovamente trasformarsi se si trova il modo di impiegare i flussi termici residui. Questi sono in alcuni casi molto importanti, come riassunto in tabella 3, nel qual caso potrebbero divenire remunerativi (vedi PyroArc). Va in ogni caso osservato che il processo AquaCitrox rimarrebbe comunque in deficit e che i cascami termici di Isotherm PWR sono a temperature veramente molto basse per poter essere sfruttati.

Tabella 3: ulteriori risorse energetiche da flussi termici residui (in MW per 140 t/d al 100%SS) e ricalcolo del consumo netto

	PyroArc®	ThermoEcoFan	Isotherm Pwr®	AquaCitrox®
Processo	-17,1 ^a	-9,7 ^b	-21,5 ^c	-3,2 ^d
Consumo netto	-13,7	-0,07	-25,75	4,12

^a come acqua calda a circa 85°C

^b come vapore a 8 bar (circa 170°C)

^c ingenti flussi di energia, ma a temperatura molto bassa (10MW @ 50°C, 11,5 MW @ 33°C)

^d come acqua calda a circa 70°C

Flessibilità sulla alimentazione

In generale i processi di gassificazione (A) ammettono, oltre al fango, una casistica più ampia di rifiuti solidi, ma, specificamente per il fango, è possibile alimentare solo essiccato. E' particolare il caso di PyroArc® che indica un limite massimo di umidità al fango al 15%, mentre ThermoEcoFan ammette maggiore flessibilità.

Entrambi i processi ossidativi (B) ammettono preferenzialmente fango disidratato (in caso di essiccato deve essere bagnato), ma deve essere finemente sminuzzato per alimentare entrambi i tipi di reattore (in pressione). Altri rifiuti con contenuto energetico, come i solventi, sono trattabili con grande vantaggio, ma rifiuti solidi diversi, di pezzatura grossolana, sono ammessi con difficoltà e richiedono pretrattamenti.

Riduzione dell'uso delle discariche (prodotti solidi)

Per ogni processo è stata valutata l'efficacia nella riduzione di volume rispetto al fango essiccato oggi collocato in discarica. Nella tabella 4 sono riportati il volume totale residuo per ton di fango trattato, espressa come Sostanza Secca al 100%, considerando pari a circa 1,6 m³ sulla base della densità del secco a 89% SS, misurata da Acque del Chiampo. Si riporta anche la riduzione di volume rispetto alla situazione attuale (collocamento in discarica di fango essiccato). Nel caso il processo produca più residui solidi inerti, da dover comunque riporre in discarica, anche questi sono stati contabilizzati; il dato tiene ovviamente conto di tutti i prodotti generati dai processi e di tutti gli additivi introdotti.

Tabella 4: percentuale di riduzione volumetrica rispetto all'impiego attuale delle discariche

	PyroArc®	ThermoEcoFan	Isotherm Pwr®	AquaCitrox®
Residuo m ³	0,233	0,215	0,34	0,583
Riduzione % rispetto	86%	88%	80,6%	66%

essiccato				
uso residuo di scarica (approx)	1/7	1/8	1/5	1/3

Va rilevato che AquaCritox® produce un residuo dichiarato inerte, ma con contenuto di acqua intorno al 45%, mentre tutti gli altri processi lasciano ceneri vetrificate, con densità elevata (in mancanza di indicazioni specifiche è stato assunto 1,7 kg/L), oltre a minori quantità di residui solidi dai trattamenti accessori (acqua o gas). Per il residuo solido prodotto da AquaCritox® un processo di filtrazione (o essiccazione) specifico potrebbe ridurre significativamente il volume.

Le tecnologie a confronto – gli impianti

E' doveroso premettere che le proposte ricevute sono inevitabilmente risultate poco approfondite sull'aspetto impiantistico. Trattandosi di progetti preliminari semplificati, lo sviluppo della parte impiantistica in aspetti importanti e di dettaglio richiede in genere un importante lavoro di ingegneria, in particolare in questa tipologia di processi piuttosto articolati, con conseguenti costi di sviluppo di ordini di grandezza superiori al compenso corrisposto ai proponenti. La valutazione effettuata dalla commissione si è limitata pertanto a considerazioni scaturite sulla base di quanto presentato e non è certamente stato possibile approfondire alcuni aspetti, che saranno elementi importanti da valutare in fase di progettazione esecutiva.

Tutte le proposte ricevute mettono in evidenza che si tratta di impiantistica per molte parti specialistica con necessità di ricorrere a materiali, strumentazioni e controllo del processo sofisticati al fine di esercire e controllare in modo ottimale il processo.

Esaminando le singole tecnologie si evidenzia quanto segue.

Proposta Sicit con processo PyroArc®

L'impiantistica del reattore di gassificazione e trattamento con torcia al plasma dei gas è garantita dall'esperienza maturata da Enviroarc- Scan Arc nell'esercizio per anni di un impianto su scala industriale che ha trattato residui conciarci e di impianti in campo siderurgico con utilizzo di torce. Rimangono da testare alcune soluzioni proposte per lo scarico in continuo delle scorie vetrificate, mai verificate nel corso dell'esercizio dell'impianto di trattamento di fanghi e residui di conceria che disponeva di scarico discontinuo.

L'impianto proposto è molto articolato, in particolare per la parte relativa al trattamento del syngas e dei flussi derivanti dallo stesso trattamento e per tutta la parte relativa alla produzione di energia elettrica. La minimizzazione degli impatti ambientali sulle emissioni gassose, liquide e solide, inevitabilmente comporta una complessità impiantistica significativa anche se realizzata con tecnologie affermate in campo industriale.

La massimizzazione della produzione di energia elettrica ricavabile dal processo e la flessibilità impiantistica introdotta, comporta l'utilizzo, anche in questo caso, di molti stadi di trattamento (motori a combustione interna, turbine a ciclo Rankine con fluido organico) con impiantistica complessa.

Gli impianti richiedono inoltre particolari accorgimenti al fine di ridurre la pericolosità derivante dall'utilizzo di syngas con contenuto di sostanze tossiche (CO) e infiammabili (CO e H₂), nonché di fluido organico anch'esso tossico.

L'impianto proposto si articola su tre linee uguali pertanto la linea prototipale risulterebbe in grado di trattare un terzo della portata globale richiesta.

Al fine di sfruttare la grande quantità di acqua calda a 80°C la ditta propone l'applicazione di un sistema di teleriscaldamento (fortemente dipendente dalla zona di installazione dell'impianto) che comunque non è quotato, né descritto nella proposta e che se non applicato porta ad un problema di dissipazione significativo.

L'impianto in generale richiede un notevole lavoro di ingegneria per la definizione di tutta l'impiantistica anche a scopo di soddisfare tutti i requisiti di sicurezza connessi con l'uso di gas tossici e pericolosi per infiammabilità e esplosività.

Si tratta della proposta più completa ricevuta dal punto di vista impiantistico, seppur su stadio preliminare, anche se in molti aspetti non testata nelle sperimentazioni eseguite.

Proposta Eurosistemi con processo ThermoEcoFan

Il reattore a suola rotante e l'impiantistica di trattamento termico e del syngas gode, nella sua definizione, della lunga esperienza maturata dal proponente nell'esercizio per anni di un impianto di pirolisi e gassificazione trattante residui solidi e liquidi con matrice simile anche se in assenza del cromo, elemento più caratteristico dei fanghi conciarari. La presenza di cromo nel fango conciarario comporta qualche dubbio sull'uso di alcuni accorgimenti impiantistici proposti quali i bruciatori stechiometrici, tenute del reattore, al fine di garantire l'assenza di condizioni ossidanti, come pure qualche perplessità deriva dalla possibile non uniformità di temperatura nel reattore come possibile causa della presenza di contenuto di carbonio nelle ceneri citato nella proposta.

L'impiantistica adottata comporta flessibilità sul tipo di materiale da alimentare (liquidi compresi) a differenza dell'impianto PyroArc®, che richiede specifiche di tenore di secco e di preparazione del fango piuttosto ristrette. Amplia flessibilità nei limiti del dimensionamento proposto è dato dal sistema di avanzamento del fango nel reattore e quindi nella variabilità dei tempi di residenza del fango nel reattore.

Le fasi di trattamento termico del fango vengono effettuate su stadi e reattori diversi e distinti (pirolisi, gassificazione, vetrificazione) a differenza della tecnologia PyroArc®.

Il trattamento del syngas e quindi delle emissioni e l'impiantistica prevista per il recupero energetico dal punto di vista elettrico è meno articolata, studiata e ottimizzata della proposta Sicit al punto da porre alla commissione qualche dubbio sull'effettivo grado di purificazione dei gas di scarico e relativo impatto ambientale; le tecnologie proposte a tal fine sono di uso affermato nel campo industriale.

La ditta propone il recupero dello zolfo dal trattamento dell'acido solfidrico presente nel syngas, la cui applicazione va valutata più attentamente in sede di progettazione esecutiva.

Altro tipo di impiantistica proposta quale la produzione di ossigeno in loco è di dimensioni e tipologia tale da essere considerata di tipo standard e affermata nella pratica industriale.

La modularità proposta è su quattro linee identiche, teoricamente una di riserva alle altre.

Proposta Itea con processo Isotherm PWR®

I processi che avvengono in eccesso di ossigeno presentano dal punto di vista impiantistico una certa semplificazione per il minor numero di stadi necessari per il trattamento termico e minor complessità nel trattamento dei gas di scarico. La semplificazione impiantistica è ancora maggiore se si considera che questo processo integra anche la funzione di essiccamento dei fanghi. Gli impianti di trattamento del gas risultano anche di più limitata dimensione per il minor volume di gas da trattare, essendo utilizzato ossigeno come comburente nel processo. Anche sotto questo profilo, la mancanza dello stadio di essiccazione è un'ulteriore elemento di riduzione di superficie occupata.

Altro vantaggio impiantistico, rispetto agli impianti operanti in carenza di ossigeno, consiste nella minor pericolosità dei gas sviluppato, in quanto non contenente sostanze di tipo infiammabile, ma in genere già al massimo stato di ossidazione.

L'impiantistica e il processo fanno presupporre una tempo di messa a regime piuttosto ridotto.

Il processo Isotherm PWR® avviene però ad elevata temperatura e sotto pressione, a differenza dei processi in carenza di ossigeno finora esaminati che operano a pressione atmosferica, o in leggera depressione. A questo si aggiunga che l'ossigeno al 90% di purezza viene compresso e preriscaldato prima di entrare nel reattore, per cui in termini di pericolosità anche detto impianto presenta elementi critici da tenere in considerazione.

L'impiantistica proposta nella fase di ricevimento dei fanghi da trattare non tiene conto dell'area necessaria per la movimentazione e il pre-stoccaggio del fango di alimentazione, che, essendo disidratato, è in quantità piuttosto rilevante, tali aree risultano in particolare necessarie se l'impianto viene fatto in zona non adiacente l'impianto di Arzignano.

L'elemento più critico dell'impianto è però dettato dalla necessità di iniettare attraverso particolari lance il fango sufficientemente fluidificato e macinato per non incappare in problematiche di otturazione dell'alimentazione, come di fatto frequentemente riscontrato in fase di sperimentazione, anche se, in quel caso, accentuato dalla dimensione modesta dell'impianto e delle lance stesse.

Altro elemento di pericolosità da considerare risulta la movimentazione e stoccaggio di quantità rilevanti di olio combustibile BTZ e non trascurabili quantità di gasolio e acido fosforico.

Il reattore proposto ha forma (verticale) e dimensionamento frutto di calcoli teorici non supportati da esperienza già fatta dalla ditta su impianto sperimentale, né reale.

La caldaia di produzione di vapore è posta a valle del reattore con possibilità di sporcamento dovuto a polveri che possono sfuggire dal reattore stesso durante i transitori di funzionamento, da verificare durante la fase prototipale l'effettiva efficacia degli accorgimenti impiantistici adottati allo scopo, per far fronte alla problematica.

Nella proposta non è esplicitato il processo della colonna di abbattimento metalli volatili eventualmente presenti nelle emissioni gassose, come pure l'impiantistica connessa con l'estrazione dei denominati "gessi", aspetto che non sembra sufficientemente approfondito.

La proposta non considera la necessità di depurazione dei reflui liquidi provenienti dal trattamento delle emissioni gassose, in quanto li considera compatibili con le caratteristiche dei reflui industriali scaricabili nella fognatura dell'impianto di Arzignano, senza peraltro specificarne precisamente le caratteristiche.

Un aspetto negativo dal punto di vista della flessibilità sembra essere l'adozione di una unica turbina per tutte le linee di produzione, da un lato necessaria per la massimizzazione della produzione di energia elettrica, che non tiene conto però della possibilità di variazione di produzione del fango che avviene stagionalmente durante l'anno e conseguente possibile ripercussione sul rendimento energetico della turbina stessa.

Altro aspetto critico è rappresentato dalla grande quantità di ossigeno richiesto per il processo che comporta l'autoproduzione in loco con impianti di grandi dimensioni e l'adozione di una tecnologia che, se da un lato risulta energeticamente meno dispendiosa, dall'altro è poco utilizzata dalla pratica industriale attuale per gli elevati costi di manutenzione che comporta. Altro aspetto critico dal punto di vista manutentivo può risultare la durata dei refrattari, peraltro comune quasi a tutte le proposte ricevute, legate alle altissime temperature presenti nel reattore.

L'impianto è proposto con una modularità su tre linee per la parte di trattamento termico, che dai calcoli teorici sembrano avere margine di sovradimensionamento rispetto alle esigenze.

Proposta SCFI con processo AquaCritox®

L'impianto proposto risulta abbastanza semplice dal punto di vista impiantistico, richiede però una installazione strettamente connessa con il processo di produzione dei fanghi di depurazione. Necessita infatti di un pretrattamento piuttosto spinto del fango disidratato rappresentato da un duplice lavaggio seguito da fasi di centrifugazione per ridurre il contenuto salino di cloruri e conseguente successivo scarico delle acque ottenute, che obbliga la sua dislocazione alle vicinanze dell'impianto di depurazione.

Forte elemento di criticità impiantistica sono le condizioni di pressione e temperatura in cui il processo avviene sia per questioni di sicurezza, sia per resistenza di materiali particolari necessari.

L'impianto proposto appare non particolarmente studiato su alcuni aspetti relativi alla minimizzazione del residuo solido finale ottenuto, di riduzione del cromo esavalente che si forma, della massimizzazione della produzione di energia elettrica, frutto dello stadio di ingegnerizzazione del processo non ancora effettivamente testato su scala industriale da parte della ditta proponente.

Elemento critico dal punto di vista della sicurezza risulta anche la necessità di comprimere l'ossigeno dopo autoproduzione a pressioni molto elevate per essere iniettato nel reattore.

Ulteriore elemento di criticità impiantistica è rappresentato dalla forte probabilità di sporco del reattore in presenza di fango da trattare ad alto contenuto di sali disciolti e incrostanti.

Qualche perplessità sorge anche su alcune macchine fondamentali, quali la pompa ad alta pressione nello scale up dell'impianto fino alla massima dimensione proposta.

La modularità proposta risulta con tre linee di dimensioni diverse fra di loro, con insufficiente flessibilità gestionale nel caso di guasto della linea più grande; consentirebbe una prima linea prototipale di dimensioni molto ridotte, ma poco utile per il suo utilizzo successivo.

Le tecnologie a confronto – gli impatti ambientali

L'impatto ambientale attribuibile ai quattro impianti proposti per la riduzione ponderale e volumetrica dei fanghi ottenuti dal trattamento dei reflui da attività conciarie nel comprensorio Arzignano- Montebello V.no può ritenersi ridotto e accettabile in considerazione dei vantaggi ambientali che possono derivare dalla minimizzazione dei fanghi da smaltire.

Delle quattro tecnologie prese in esame sono considerati gli impatti derivanti dalle emissioni, dai reflui, dai solidi da smaltire, dal traffico. Il confronto degli impatti dei quattro impianti è schematizzato nella tabella 4 riportata in fondo al paragrafo .

Nonostante l'incertezza di alcuni dati, giustificabile con la complessità dei processi e quindi con l'impossibilità di calcolo della effettiva resa/efficienza delle varie fasi, è comunque possibile ritenere congruo l'ordine di grandezza di quanto emesso in atmosfera e di quanto debba essere smaltito (reflui e rifiuti solidi).

I processi cui devono essere sottoposti le emissioni, i reflui e i fanghi, prodotti dai quattro impianti, sono noti e i parametri funzionali delle diverse fasi di trattamento possono essere facilmente modificati così da consentire il raggiungimento dell'obiettivo finale previsto e prescritto.

Emissioni

Le emissioni che possono originarsi dai quattro impianti sono poco significative ai fini dell'impatto ambientale.

I flussi gassosi e i relativi carichi di sostanze inquinanti emessi dal processo AcquaCritox® risultano i più contenuti. Sono dichiarati volumi di gas pari a 6 000 m³/h che hanno origine dalla depressurizzazione della fase liquido/gas a valle dell'ossidazione supercritica; ridotto è il contenuto di polveri, SOV (sostanze organiche volatili) N₂, SO₂.

Due emissioni sono pure individuabili nel processo ThermoEcoFan (T.E.F) proposto da EuroSistemi; una è dovuta ai fumi emessi a valle dell'unità di cogenerazione e l'altra è rappresentata dal flusso emesso dal biofiltro destinato al trattamento dell'aria di rinnovo dai locali di alloggiamento delle apparecchiature d'impianto. I prodotti della combustione dai motori a ciclo Otto una volta sottoposti a trattamento catalitico sono emessi con un contenuto di inquinanti ridotto e ampiamente entro i valori limiti fissati dalla normativa di settore vigente, D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. Il volume di questa emissione è stimato in 60 000 m³/h. Anche il volume emesso dal biofiltro si aggira su questi valori.

Il processo PyroArc® presenta una sola emissione di circa 46 000 m³/h costituita dai prodotti della combustione dei motori delle unità di cogenerazione. Per questo flusso è previsto un trattamento catalitico. Altre emissioni, anche se non segnalata per il loro basso impatto, possono avere origine da locali di alloggiamento impianti.

Il processo IsothermPWR® prevede un'emissione che si aggira sulle 15 000 m³/h a valle delle fasi di trattamento del flusso in uscita dal reattore di ossidazione flameless. Il trattamento dei fumi prevede fasi di filtrazione a maniche, di lavaggio con venturi scrubber e di condensazione.

Ponendo a confronto le caratteristiche quali-quantitative delle emissioni dai quattro processi emerge che quelle dai processi di ossidazione (AcquaCritox® e IsothermPWR®) presentano minori problematiche nell'individuazione delle fasi di trattamento ante scarico in atmosfera. Il processo AcquaCritox, come anticipato, è certamente quello che presenta le emissioni a impatto marginale.

I processi PyroArc® e ThermoEcoFan, che operano in carenza di ossigeno, portano a emissioni ante trattamento "più impegnative" e pressoché simili sia in quantità sia in caratteristiche qualitative. Il pretrattamento del syngas ante utilizzo nei gruppi di cogenerazione e il trattamento catalitico

previsto sui fumi dai motori a combustione interna favoriscono un'emissione che non desta preoccupazione ai fini dell'impatto.

Per quanto riguarda le emissioni di inquinanti organici, gli impianti di ossidazione si fanno preferire rispetto a quelli a gassificazione in quanto caratterizzati da una distruzione di tali inquinanti più efficace, date le condizioni drastiche di ossidazione richieste dalla natura intrinseca dei processi. Inoltre la quantità delle emissioni è notevolmente inferiore rispetto a quelle in gassificazione tenuto conto che si utilizza ossigeno e non aria per la combustione ed inoltre tali processi non richiedono l'essiccamento dei fanghi, operazione che dà origine ad una significativa quantità di emissioni.

Tutti i processi emettono CO₂ che ha origine essenzialmente dalla ossidazione chimica o termica delle sostanze organiche presenti nei fanghi. Si ritiene, comunque, corretto far presente che dai processi proposti si ottiene energia elettrica e/o termica il che consente la riduzione dei consumi di combustibili fossili e del corrispondente contributo in CO₂. Dai processi esaminati è anche prevedibile l'emissione di vapore acqueo da torri di raffreddamento qualora il calore residuo a bassa temperatura non possa essere impiegato altrimenti.

Reflui

Le caratteristiche quali-quantitative dei reflui grezzi prodotti dai quattro impianti sono notevolmente diverse e pertanto richiedono impianti di trattamento più o meno complessi per avviare allo scarico e al recettore finale acqua depurata con caratteristiche che rispettino i limiti fissati dalla normativa vigente.

Il processo AcquaCritox è il più idroesigente con una richiesta idrica stimata in 2 200-3 000 m³/d. Due sono i flussi prodotti: il primo da 90 m³/h derivante da un doppio lavaggio dei fanghi per rimuovere la salinità (per questo flusso non sono previsti trattamenti prima dello scarico), mentre il secondo flusso si ottiene a valle delle fasi di elettrocoagulazione/sedimentazione richieste per la riduzione del cromo esavalente dalla separazione solido/liquido.

L'idroesigenza del processo ThermoEcoFan è stimata in 10-15 m³/h. I reflui, provenienti dalle sezioni di lavaggio del syngas e dalla sezione LO-CAT per il recupero dello Zolfo, sono sottoposti a più fasi di depurazione: chiariflocculazione; ultrafiltrazione, osmosi inversa per portare le caratteristiche delle acque depurate avviate allo scarico entro i valori limite di concentrazione previsti dalla norma. Il flusso concentrato prodotto dall'osmosi inversa è avviato a un evaporatore per la separazione dell'acqua dai sali. Questi sono da avviare a smaltimento.

La richiesta idrica del processo PyroArc® oscilla sui 15 m³/h. Flussi idrici con caratteristiche già idonee allo scarico in fognatura non sono sottoposti ad alcun trattamento prima dello scarico. Le acque di processo o con presenza anche modesta di inquinanti sono sottoposte, prima dello scarico, a trattamenti di chiariflocculazione e di evaporazione a multiplo effetto e di essiccazione.

ITEA non definisce ~~con chiarezza~~ completamente l'idroesigenza del processo IsothermPWR e le fasi di trattamento dei reflui che hanno origine dalle sezioni di lavaggio delle emissioni. In termini di reflui scaricati vanno indicativamente considerati ~~Solo~~ lo spurgo dalle torri di raffreddamento, quantificato in 25 m³/h, i reflui provenienti dal trattamento dei fumi di circa 7-10 m³/h e quelli provenienti dalla condensazione dei fumi prima dello scarico al camino (circa 15 m³/h).

Dal confronto delle caratteristiche quali-quantitative degli scarichi idrici dai quattro processi, sono quelle del processo AcquaCritox che destano maggiori preoccupazioni sia per la quantità sia per la presenza di un certo contenuto di Sali, in particolare contenuti nei reflui provenienti dal lavaggio dei fanghi e in quelli separati dal fango dopo la fase di elettrocoagulazione.

La qualità dei reflui del processo IsothermPWR non ~~è~~ è ben definita, in particolare la destinazione di alcuni inquinanti inorganici contenuti nei fanghi (sali), ma la società proponente considera tali reflui compatibili con le caratteristiche di quelli industriali fognari dell'impianto di depurazione di Arzignano.

I reflui dei processi PyroArc® e ThermoEcoFan proposti rispettivamente da SICIT e EuroSistemi richiedono sezioni di trattamento complesse e onerose sia per la realizzazione degli impianti sia per la loro gestione. I trattamenti a membrana e a evaporazione a multiplo effetto consentono certamente di avviare allo scarico acque depurate a bassissimo livello di sostanze inquinanti.

Rifiuti solidi e liquidi

I rifiuti prodotti dai quattro processi sono diversi sia per qualità sia per quantità.

AcquaCritox® quantifica i rifiuti solidi, al 45% in SS (fanghi), da smaltire in circa 74 000 kg/d. Fanghi che certamente contengono cromo e ferro ma anche tutti i metalli già presenti nel fango prodotto dalla depurazione dei reflui di concia e sottoposto a trattamento di ossidazione a umido. Dubbi anche sulla presenza di cromo esavalente nei fanghi.

Dall'impianto proposto da EuroSistemi, processo ThermoEcoFan, sono prodotte varie tipologie di rifiuti. Rifiuti vetrificati stimati in 51 000 kg/d, sali per 2 100 kg/d da evaporazione del flusso liquido concentrato da osmosi inversa cui devono essere sottoposti i reflui e sali da pulizie delle linee e dello scambiatore di calore. E' richiesto anche lo smaltimento di MDEA per circa 600 L/anno saturo in H₂S. L'impianto produce anche 105 kg/h di zolfo ottenuto da processo LO-CAT da avviare a riutilizzo.

SICIT quantifica i rifiuti prodotti dal processo PyroArc® in 43 000 kg/d di rifiuti vetrificati raccolti al fondo del forno di gassificazione e in 12 000 kg/d di rifiuti ottenuti dalla stabilizzazione/solidificazione dei fanghi da trattamento reflui. Anche in questo caso vanno considerati i rifiuti prodotti dalla pulizia delle linee che saranno essenzialmente sali.

Dal processo IsothermPWR proposto da ITEA, la produzione di rifiuti è individuata: nelle ceneri vetrificate raccolta alla base del reattore per circa 58 000 kg/d e nei fanghi (gessi) prodotti dalla sedimentazione delle acque di lavaggio fumi per circa 15 000 kg/d; nessuna informazione su operazioni di disidratazione o essiccamento. Il particolato filtrato e la vermiculite rimossi dai filtri a maniche sono riciclati al reattore.

Le informazioni fornite sui processi da AcquaCritox sul processo AcquaCritox® e, in parte, anche da IsothermPWR® non sono esaustive sull'aspetto quanto riguarda la qualità e sulla quantità dei rifiuti prodotti e sul loro smaltimento.

Le produzioni di rifiuti vetrificati dagli impianti PyroArc® e ThermoEcoFan sono molto simili, mentre risulta divergenza sui rifiuti da abbattimento dello zolfo. EuroSistemi propone due sistemi di abbattimento delle sostanze solforate che portano allo smaltimento di 600 kg/anno di MDEA e alla

separazione di 2 500 kg/d di zolfo da destinare a recupero. Dall'impianto SICIT le sostanze solforate abbattute nelle fasi di lavaggio fumi è previsto confluiscono alla stabilizzazione-solidificazione congiuntamente ai sali trascinati dal syngas all'uscita dal gassificatore.

La preoccupazione determinata dalla possibile formazione di cromo (VI), nota sostanza cancerogena, non riguarda l'esterno degli impianti. La formazione di questa sostanza, tuttavia, può comportare eventualmente rischi d'esposizione per gli addetti alla gestione e manutenzione dell'impianto, rischi ai quali si può facilmente porre rimedio con un'attenta conduzione delle operazioni in condizioni di sicurezza e con procedure adeguate per le operazioni di manutenzione. Da questo punto di vista le tecnologie di gassificazione si fanno preferire in quanto evitano la formazione di cromo (VI) e risolvono quindi il problema alla radice. Per quanto riguarda invece le tecnologie ad ossidazione si deve distinguere fra Isotherm Pwr® e AquaCritox®. Nel primo caso la formazione di cromo (VI) è evitata, come nel caso dei processi di gassificazione, per effetto dell'elevata temperatura, tuttavia nei transitori o nei punti critici dell'impianto in cui la temperatura scende, il cromo (VI) potrebbe formarsi nelle polveri trascinate. Tuttavia le stesse polveri sono facilmente trattenute nell'impianto, e non interessano pertanto l'esterno; eventuali cautele si dovranno usare solo durante le operazioni di manutenzione per la pulizia delle apparecchiature. Nel secondo caso, AquaCritox®, il cromo(VI) viene prodotto necessariamente nel processo, ma resta confinato in soluzione, entro l'impianto, dalla quale può facilmente essere ridotto a cromo (III), secondo le normali applicazioni ben collaudate nell'industria galvanica di cromatura, che sono ampiamente diffuse in zona.

Traffico

Il traffico non può divergere significativamente nell'esercizio dei quattro impianti se all'area di insidenza pervengono i fanghi essiccati da Montebello V.no e Arzignano e l'ossigeno richiesto dai processi ThermoEcoFan, AcquaCritox® e IsothermPWR® è prodotto in loco. Il trasporto dei reagenti, delle scorie vetrificate, dei rifiuti da smaltire (solidificati o solo disidratati) e dei combustibili solidi/liquidi possono differire per 1 – 2 trasporti giornalieri. E' comunque da rilevare che l'impatto ambientale dovuto al traffico è dipendente dalla localizzazione dell'impianto e dalla tipologia impianto adottata. Qualora l'impianto venisse localizzato in area adiacente all'impianto di Arzignano, il trasporto del fango da trattare potrebbe forse essere realizzato non via gomma, ma con macchine adeguate (esempio: nastri trasportatori, ecc.), riducendo tale impatto in modo significativo essendo la quantità di fanghi prodotta dal depuratore di Arzignano quasi il 70% del fango da trattare. Un maggiore impatto dovuto al traffico è attribuibile alle tecnologie che utilizzano fango in forma non essiccata quali IsothermPWR® e AcquaCritox®, in tal caso le quantità da trasportare di fanghi pressati/centrifugati sono almeno il triplo rispetto alla forma essiccata, per cui in tal caso si tratterebbe al massimo di 12 autotreni al giorno per il fango di Arzignano e di circa 5 per quello di Montebello.

Complessivamente il traffico è prevedibile in 10 – 15 trasporti giornalieri per fanghi, reagenti e rifiuti prodotti, nell'ipotesi di trasferimento di soli fanghi essiccati e autoproduzione di ossigeno in loco.

Tabella 4: confronto degli impatti ambientali

Impianto	PyroArc®	IsothermPWR®	ThermoEcoFan® (TEF)	AcquaCritox®
Emissioni	Fumi prodotti da motori a combustione interna circa 46 000 m ³ /h pretrattati su stazione di ossidazione catalitica. Eventuale trattamento aria di rinnovo dai reparti	Fumi prodotti da motori a combustione interna circa 15 000 m ³ /h dopo trattamento catalitico.	Due sorgenti di emissione: da unità di cogenerazione e da biofiltro. L'impatto da entrambe è trascurabile. Il biofiltro tratta l'aria di rinnovo proveniente dagli ambienti di lavoro e quindi con carico inquinante ridotto. I prodotti di combustione dai motori a combustione interna, prima di essere immessi in atmosfera, sono sottoposti a un trattamento catalitico in grado di rimuovere buona parte degli ossidi di azoto e delle SOV. I volumi delle emissioni sono stimati in 60 000 m ³ /h dal rinnovo dell'aria nei locali, e in 60 000 m ³ /h di fumi da cogenerazione	Emissioni trascurabili da fase di ossidazione ad umido (6 000 m ³ /h) e eventualmente da rinnovo aria dei locali. Impatto irrilevante anche per CO ₂ , SOV, polveri, SO ₂
Reflui	Reflui da varie fasi: 15 m ³ /h. Pretrattati e con caratteristiche tali da consentirne il conferimento al recettore finale. Pretrattamento per evaporazione	Da varie fasi di trattamento fumi sono prodotti reflui per circa 20-25 m ³ /h. Da torri di raffreddamento è previsto uno scarico di 25 m ³ /h di reflui	I reflui da smaltire pretrattati con processo LO CAT e osmosi inversa sono stati contenuti entro un volume di 10-15 m ³ /h. La qualità dei reflui pretrattati consente il loro scarico nel recettore finale	Elevate quantità di reflui dalla desalinizzazione dei fanghi ante ossidazione ad umido (circa 90 m ³ /h) e da pretrattamento dei reflui (30 m ³ /h) da fase di eliminazione del Cr(III)
Rifiuti solidi e liquidi	Scorie vetrificate 43000 kg/d, fanghi dopo stabilizzazione-solidificazione: 12000 kg/d, polveri da pulizia tubazioni e scambiatore	Scorie vetrificate 58 000 kg/h, fanghi-gessi 15 000 kg/d, polveri da pulizia tubazioni e scambiatore	Il processo porta alla produzione dei seguenti rifiuti: 51 000 kg/h di scorie vetrificate; 2 100 kg/d di sali concentrati; polveri da pulizia tubazioni e scambiatore, 600 L/anno di MDEA. Recupero di 2 500 kg/d di zolfo	Fanghi inorganici da trattamento di chiariflocculazione dei reflui da post riduzione del cromo(vi). Fanghi da smaltire: 74 000 kg/d.
Traffico (produzione O₂ in loco e trasporto fanghi essiccati)	13 automezzi/d per ritiro fanghi essiccati, coke e reagenti e smaltimento scorie e fanghi stabilizzati	13 automezzi/d per ritiro fanghi essiccati, combustibile, reagenti e smaltimento scorie e gessi.	13 automezzi/d per ritiro fanghi essiccati e reagenti e smaltimento fanghi essiccati e scorie	12 automezzi/d per ritiro fanghi essiccati e reagenti e smaltimento fanghi prodotti

Le tecnologie a confronto – I costi

Premessa

Va premesso, per recepire correttamente quanto riportato nel presente paragrafo, che i valori su cui sono basate le valutazioni, e quindi anche le conclusioni, presentano un grado di incertezza che la Commissione ritiene significativo e differente da proposta e proposta.

Il costo di impianto, definito solo con un dimensionamento di larga massima e non con un progetto definitivo e che costituisce il valore più significativo su cui si basano le valutazioni, è stato stimato dai quattro offerenti per strutture in grado di rispondere adeguatamente alla potenzialità indicata nel disciplinare; potenzialità che risulta esuberante alle necessità attuale media degli impianti di Arzignano e Montebello sommati. Solo attingendo ai fanghi già posti a discarica potrebbe essere saturata la potenzialità residua, ma non tutti i processi sono in grado di farlo. Anche i costi di esercizio, ovviamente, sono stati stimati tenendo conto della potenzialità massima degli impianti.

Un altro grado di incertezza è rappresentato dalle modalità con cui viene trasformata l'energia ottenuta dal fango: tutte le proposte presentate hanno optato per la massimizzazione dell'energia elettrica prodotta, questo ha significato nel contesto energetico nazionale dove la produzione di energia da fonti rinnovabili (fango) viene incentivata economicamente, attraverso i certificati verdi. Ma qualora l'incentivo venisse meno, come già succede in altri paesi europei, altre strade per il recupero energetico potrebbero diventare più interessanti, ad esempio, per i gassificatori, l'uso del syngas nell'essiccamento.

In conclusione i costi indicati ed il relativo confronto va considerato come puramente indicativo e solo dopo la messa a punto dei processi e lo sviluppo dell'ingegneria può diventare reale.

Valutazioni economiche

La valutazione economica dei progetti è stata effettuata secondo le metodologie finanziarie, considerando il manifestarsi dei flussi di cassa nel tempo. In tale ambito si fa riferimento¹ alle formule di matematica finanziaria relative all'attualizzazione (sconto) di un flusso futuro, al fine di esprimere il suo valore attuale:

$$W_0 \sum_{t=1}^n F_t v^t$$

Dove:

W_0 = valore odierno dell'investimento V.A.N. (Valore Attuale Netto)

F_t = flusso per l'anno t (per t da 1 ad n , e con n tendente ad infinito);

v = coefficiente di attualizzazione (sulla base di opportuni tassi).

La valutazione mediante criteri finanziari permette di valutare la capacità di restituzione del debito contratto per la realizzazione degli investimenti. Per il calcolo si è utilizzato un valore di $v = 5\%$, per t da 1 a 15 anni.

¹ Guatri A., Bini M. (2005), "Nuovo trattato sulla valutazione delle aziende", Egea, Milano
Pavarani E., a cura di, (2002), "Analisi finanziaria", McGraw-Hill, Roma

I flussi di cassa sono stati determinati dalla differenza fra le spese di gestione e le entrate costituite dalla vendita di energia elettrica, considerando un valore di 100 € /kWh per l'energia prodotta in eccesso rispetto all'autoconsumo e ceduta ad Acque del Chiampo e 80 €/kWh per il valore dei certificati verdi.

Per quanto riguarda le spese di gestione è stato osservato dalla Commissione che, particolarmente in alcuni casi, esse sono state sottostimate rispetto ai valori effettivi di mercato. Si è provveduto allora a determinare tali spese anche sulla base di quanto giudicato effettivo dalla Commissione onde equilibrare i vari progetti.

Per quanto riguarda il costo della fornitura dell'impianto, la Commissione, pur non potendo entrare nel merito, tuttavia fa osservare che tali valori si debbono considerare approssimativi dato che non sono stati desunti da un progetto esecutivo e pertanto debbono essere considerati come delle stime di massima.

Nel calcolo si è tenuto in considerazione anche la spesa per l'essiccamento dei fanghi valutata in 6.930.000 €/anno a carico degli impianti di gassificazione che richiedono espressamente l'essiccamento.

Sulla base di tali assunti si sono determinate le valutazioni che si riportano nella tabelle che segue:

	PyroArc®		IsothermPWR®		AquaCritox®		TEF
	progetto	mercato	progetto	mercato	progetto	mercato	progetto
Costo impianto	€ 88 124 506	€ 88 124 506	€ 75 500 000	€ 75 500 000	€ 52 728 240	€ 52 728 240	€ 65 494 923
spese gestione	€ 14 256 716	€ 13 434 239	€ 9 307 983	€ 16 472 369	€ 10 407 136	€ 12 545 519	€ 14 842 219
ricavi ee	€ 3 960 000	€ 3 960 000	€ 3 366 000	€ 3 366 000	€ 0	€ 0	€ 3 017 520
ricavi CV	€ 6 336 000	€ 6 336 000	€ 3 991 680	€ 3 991 680	€ 2 777 702	€ 2 777 702	€ 4 061 376
ricavi totali	€ 10 296 000	€ 10 296 000	€ 7 357 680	€ 7 357 680	€ 2 777 702	€ 2 777 702	€ 7 078 896
costo fanghi annuo	€ 13 309 000	€ 12 490 000	€ 9 960 000	€ 17 125 000	€ 13 225 000	€ 15 360 000	€ 14 715 000
V.A.N.	-€ 125 463 273	-€ 117 709 554	-€ 93 886 047	-€ 161 426 699	-€ 124 653 025	-144 812 154	-138 681 920
Costo fanghi€/t SS	288	270	216	371	286	332	319

La colonna "progetto" riporta i valori delle spese come riportato dal progetto, in quella "mercato" sono riportate le spese stimate dalla Commissione per equilibrio fra i vari impianti.

Il costo dei fanghi è stato determinato come il valore del costo di smaltimento (entrata) che porta a zero il V.A.N., pareggiando l'investimento nei quindici anni. Nel calcolo dei ricavi non sono state conteggiate eventuali sopravvenienze dalla vendita di energia termica, che viene prodotta in eccesso da tutti gli impianti, in quanto, allo stato attuale considerata non utilizzabile, anche se nel progetto esecutivo potrebbe essere presa in considerazione la possibilità di un utilizzo, ad esempio mediante un impianto di teleriscaldamento, riducendo il costo di smaltimento del fango e rendendo più interessante l'investimento.

I dati riferiti ad IsothermPWR® si discostano in modo anomalo, sono i più bassi come riportato dall'azienda e i più elevati nelle considerazioni della Commissione, poiché le spese di gestione sono state evidentemente sottostimate. Anche non volendo considerare il dato risultante dai valori attribuiti dalla Commissione, ma il valore medio fra le due stime, si ottiene un valore del costo di smaltimento del fango di 293 €/t SS, che si situa all'interno del campo di variabilità di tutti i dati.

Considerando che le stime sono approssimative, per quanto detto sopra, e considerando un deviazione standard del 20% sulle previsioni, si osserva che tutti i valori rientrano nel campo della variabilità (237-356), attorno al valore medio del costo del fango di 297 €/t SS .

Si può pertanto trarre la seguente conclusione: la comparazione economica fra impianti a gassificazione e ad ossidazione non porta ad una netta distinzione economica fra le due tecnologie, tenendo conto che essa dipende strettamente dal recupero energetico che viene effettuato e dalle spese di gestione che, nel caso degli impianti di gassificazione, sono penalizzate dai costi di essiccamento del fango che invece non sono in carico agli impianti a ossidazione, dato che lavorano sul fango filtropressato (se le spese di essiccazione non venissero conteggiate, gli impianti di gassificazione risulterebbero nettamente preferibili economicamente). Inoltre soluzioni diverse per la stessa tecnologia possono differire economicamente in maniera anche molto significativa (vedi differenza PyroArc® e ThermoEcoFan).

Considerazioni finali e proposte della commissione

Viene ancora una volta confermata la disponibilità di tecnologie adeguate per trattare i fanghi provenienti dalla depurazione di reflui conciarci, offrendo nello stesso tempo adeguate garanzie ambientali.

Nello specifico, nessuna delle tecnologie considerate desta preoccupazione particolare, per quanto riguarda gli impatti ambientali o rischi per la popolazione, in quanto o il tipo di tecnologia e/o i sistemi adottati per il contenimento delle emissioni sono tali da limitare l'impatto, con margini di sicurezza, entro le soglie imposte dalle norme e da quelle più restrittive richieste nel disciplinare, e quindi sono considerate accettabili. Tutte le tecnologie adottate per l'abbattimento degli inquinanti, a valle delle unità termiche, in quanto applicano tecniche di buona pratica industriale, sono collaudate e non rientrano quindi nel campo della sperimentazione. Anche nel caso delle tecnologie con emissioni più consistenti, la loro entità è contenuta e dell'ordine delle normali emissioni prodotte da ciascuna azienda di dimensioni medie localizzata nelle zone industriali di tutti i comuni confinanti e tali, pertanto, da non costituire un problema particolare.

Se si esamina la questione dal punto di vista della "produttività", commisurata con la reale funzionalità operativa degli impianti in rapporto anche ai costi di trattamento, tutte le tecnologie considerate presentano, quale più quale meno, incertezze con possibili effetti combinati: una scarsa funzionalità impiantistica può peggiorare i risultati attesi; una scarsa continuità di funzionamento può comportare un aumento sensibile dei costi e, per altro, una compressione dei costi potrebbe incidere nel miglioramento dei risultati.

Si ribadisce che le incertezze di cui si è fatto menzione, riguardano solo marginalmente i possibili impatti ambientali, che, sulla base delle sperimentazioni condotte e della documentazione fornita, risultano contenibili e sufficientemente prevedibili, sia in termini di costi che di efficienza e funzionalità, attraverso sperimentate tecnologie di abbattimento. Le perplessità riguardano invece i processi termici propri e la loro difficoltà a condurli con continuità e affidabilità, in impianti a scala reale, con il particolare tipo di fango da trattare, e a costi sostenibili; trattandosi di processi innovativi nel campo di applicazione richiesto, non sono note tutte le difficoltà che sicuramente si incontreranno nell'approntare e a far funzionare gli impianti.

I processi di gassificazione vengono ritenuti al momento più affidabili, per la consistenza delle sperimentazioni condotte e per le referenze disponibili in impianti industriali; presentano d'altra parte una articolazione impiantistica più complessa in sé, oltre a presupporre l'essiccamento preventivo del fango negli appositi impianti (esistenti); dal punto di vista energetico potrebbero diventare vantaggiosi qualora fosse recuperabile la notevole quantità di calore reso disponibile dal processo.

Il processo di ossidazione in pressione (Isotherm Pwr®) è considerata una valida ed interessante alternativa e potrebbe presentare vantaggi sia dal punto di vista ambientale che impiantistico. Rispetto alla gassificazione proposta da PyroArc®, necessita però di maggiori riscontri e messe a punto, essendo supportato da campagne sperimentali di scala più ridotta. Consente l'eliminazione dell'impianto di essiccamento (con il relativo punto di emissione) e presenta un bilancio energetico più favorevole, ma comporta movimentazioni importanti di combustibili liquidi ed il consumo di reagenti chimici costosi.

Il processo AquaCritox®, pur valutato concettualmente interessante, viene ritenuto al momento inapplicabile per le incertezze che la trasformazione in impianto industriale potrebbe comportare, in relazione soprattutto alle caratteristiche del materiale da trattare.

La tecnologia che si andrà a realizzare dovrà pertanto passare attraverso un “impianto prototipale”, sul quale si dovrà lavorare approfonditamente per mettere a punto l’impiantistica ed il processo, considerando anche l’eventualità che le modifiche che si rendessero necessarie potrebbero essere talmente rilevanti da mettere a rischio la fattibilità dell’intervento; è pertanto assolutamente necessario che il fornitore dell’impianto, abbia capacità tecniche e di ingegneria di livello assolutamente elevato, per affrontare tutti i problemi che inevitabilmente sorgeranno.

Poiché la Commissione ritiene che questo sia il reale problema, indipendentemente dai vantaggi e svantaggi sopra enumerati per le varie tecnologie, da verificare attraverso una progettazione di adeguato dettaglio, propone agli organi decisori un programma razionale, che rappresenti un percorso ragionato per effettuare la scelta con i minori rischi tecnici ed economici:

- 1) Installare un impianto prototipale su scala reale adeguata, che potrebbe essere una frazione significativa del fango da trattare, dell’ordine di 1/3 -1/4 e comunque non inferiore a 1/10, affinché possa rimanere una unità produttiva significativa, dopo ottimizzazione.
- 2) L’impianto deve essere fatto funzionare a regime per un periodo significativo (dell’ordine di sei mesi-un anno) per evidenziare, ed eventualmente risolvere, le problematiche dimensionali, tecnico-gestionali e di funzionalità che si dovessero presentare.
- 3) Dovendo optare per una scala di preferenze, la Commissione ritiene che l’ordine possa essere: 1) gassificazione, 2) ossidazione (flameless), in ragione del fatto che la gassificazione è stata la tecnologia più provata e l’altra, pur presentando vantaggi sotto certi aspetti, tuttavia è nuova e ha quindi un’alea di incertezza più elevata in relazione alle particolari condizioni del processo e al tipo di fango da trattare; incertezze, si precisa, che sono inerenti solo alla gestione industriale del processo, non agli effetti sull’ambiente, sui quali non sussistono ragionevoli dubbi.
- 4) Al fine di scongiurare il rischio che la suddetta scelta di priorità porti ad impegnare un cospicuo lasso di tempo su una tecnologia che potrebbe anche rivelarsi inadeguata con il risultato di trovarsi tra qualche anno senza risultati efficaci per far fronte all’estrema criticità dello smaltimento nel tempo dei fanghi di depurazione del distretto, si ritiene corretto di raccomandare la prosecuzione, in approfondimento parallelo, di ulteriori opzioni tecnologiche; tali sperimentazioni, non necessariamente da svolgersi presso gli impianti di depurazione, potranno riguardare sia le tecnologie già esaminate e considerate in subordine nella priorità sopra esposta, che ulteriori proposte progettuali non considerate né esaminate nel corso dei lavori di questa Commissione;
- 5) Si suggerisce inoltre di valutare, in ordine a quanto sopra esposto al punto 4), le modalità di gestione di tali sperimentazioni, o attraverso la stesura di specifici protocolli o tramite incarico di supervisione ad una commissione tecnica, in modo tale da ottenere dati univoci, verificabili e confrontabili, che possano essere effettivamente non contestabili ed

utilizzabili, nei casi in cui si dovesse ricorrere, per i motivi più volte enunciati, a soluzioni diverse ed ulteriori rispetto alla scelta prototipale di cui al punto 3).

La Commissione

Andrea Baldisseri: Responsabile Servizio Giada Aria e Rumore della Provincia di Vicenza

Luca Calderato: Direttore del laboratorio di analisi di Medio Chiampo SpA

Paolo Canu: Professore di Combustibili e Combustione e Ingegneria delle Reazioni Chimiche -
Facoltà di Ingegneria - Università di Padova

Maria Luisa Cracco: Responsabile Servizio Monitoraggi & Controlli di Acque del Chiampo SpA

Luigi Culpò: Direttore Generale di Medio Chiampo SpA

Walter Formenton: Chimico, libero professionista

Stefano Paccanaro: Direttore Tecnico impianto di depurazione di Medio Chiampo SpA

Alessandro Rebellato: Direttore Generale di Acque del Chiampo SpA

Daniele Refosco: Direttore Area Depurazione di Acque del Chiampo SpA

Gabriele Scaltriti: Professore di Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti – DIPIC -
Facoltà di Ingegneria - Università di Padova

Vittorio Sandri: Ingegnere Chimico

Fabio Strazzabosco: Dirigente del Servizio Idrico Integrato, Direzione Tutela Ambiente - Regione
Veneto

Anna Tosini: Direttore AATO Valle del Chiampo

Vincenzo Restaino: Direttore ARPAV – Provincia di Vicenza

Presidente:

Lorenzo Asso: Direttore Area Tecnica di Acque del Chiampo

Appendice:

Glossario

Bricchetta: agglomerati densi di materiali (nel caso specifico di fango essiccato) della dimensione di una noce ottenuta attraverso compressione meccanica in apposite macchine (**Bricchettatura**) partendo dal materiale sfuso

Combustione: è una reazione chimica con ossigeno (detta appunto *ossidazione*), generalmente fornito attraverso l'aria per ragioni di economicità. L'uso di aria ha la controindicazione, dovuta alla contemporanea presenza di grandi quantità di azoto, inutile nella reazione, di aumentare considerevolmente le dimensioni degli impianti. Perché avvenga la combustione sono necessari tre elementi: il combustibile e il comburente, in proporzioni adeguate, e l'innesco. Durante la combustione viene prodotto calore e si formano nuovi composti, principalmente CO₂ ed acqua sotto forma di vapore. A seconda del combustibile e delle condizioni a cui avviene il processo si possono formare anche sotto prodotti inquinanti, seppure in quantità minoritarie, ma non per questo trascurabili.

Cromo: per sé è un metallo, duro, lucido, color grigio acciaio che può essere facilmente lucidato, fonde con difficoltà ed è molto resistente alla corrosione, da cui l'uso noto per le cromature. In questo contesto tuttavia è rilevante per i suoi composti. Quelli utilizzati nella concia contengono cromo trivalente, privo di particolari controindicazioni salvo le normali precauzioni per evitare irritazioni. Costituisce un elemento di preoccupazione invece la possibilità che questi composti possono andare soggetti ad ossidazione, mediante esposizione ad ossigeno in temperatura, generando composti in cui il cromo appare nella forma esavalente, la cui tossicità è accertata.

Gassificazione: termine generico per indicare processi che trasformano un materiale, solitamente solido, in gas. Poiché da questo punto di vista anche la combustione produce lo stesso risultato il termine è evidentemente ambiguo. Viene tuttavia usato spesso come sinonimo di pirolisi (→vedi), talora per evidenziarne una variante in cui la produzione di composti gassosi è ulteriormente accentuata mediante alimentazione di ulteriori reagenti, tipicamente ossigeno o vapor d'acqua. La gassificazione si differenzia dalla combustione diretta per il minor rapporto ossigeno/combustibile che impedisce un'ossidazione completa del combustibile. Si parla in tal caso di *ossidazione parziale*.

L'uso della gassificazione, applicata al legno per produrre carbone e gas di sintesi (CO e H₂), è diffuso fin dalla fine del XVIII secolo e le prime applicazioni commerciali di cui si ha notizia risalgono al 1830. Il processo ha recuperato grande interesse in anni recenti, con la possibilità di progettare impianti molto compatti, anche operanti in pressione, e di impiegare direttamente i gas prodotti in turbine a gas per la produzione di energia elettrica.

Gassificatore: nome generico di un reattore nel quale avviene una gassificazione. Ospitando una reazione fra un gas e un solido, presuppone configurazioni che rendano il contatto più efficace possibile. Si possono riconoscere gassificatori in cui il solido attraversa il reattore lentamente, sotto forma di materiale frammentato, attraversato dai gas prodotti nel processo

(o eventualmente aggiunti per favorirlo) in direzione opposta al moto del solido (controcorrente) oppure in equicorrente. In alternativa il solido può essere trasportato meccanicamente, per poter meglio decidere quanto mantenerlo nelle zone calde del reattore, oppure ancora essere trasportato da un flusso gassoso (letto fluido).

Incenerimento/Inceneritore: come per gassificazione, il termine è generico e significa chiaramente riduzione in cenere di un materiale. Il termine è convenzionalmente utilizzato con riferimento ai processi tradizionali di trattamento termico ossidativo dei rifiuti solidi urbani e speciali, prevalentemente realizzato in forni a griglia. Si tratta sempre di un processo di combustione (ossidazione totale), in eccesso d'ossigeno (ovvero aria), a temperature elevate ($> 850^{\circ}\text{C}$). Come tale il processo produce energia termica che può essere utilizzata per produrre energia elettrica mediante cicli a vapore. L'uso di questo termine evidenzia l'obiettivo di trasformare un rifiuto in prodotti gassosi innocui (auspicabilmente solo CO_2 e H_2O), riducendo il problema al solo smaltimento delle ceneri residui. Questo processo può comportare la conversione del cromo trivalente in cromo esavalente.

Pirolisi: decomposizione di una sostanza per il solo effetto del calore, in assenza di altri reagenti. Se il materiale è di origine organica (contenente quindi C, H, O), il processo può produrre liquidi (oli) oppure gas (CO , H_2 , idrocarburi leggeri fra cui prevalentemente metano) che hanno un contenuto energetico residuo e sono quindi utilizzabile come combustibili. Quantità e tipo di prodotti dipendono dalle condizioni (temperatura, pressione e velocità di riscaldamento) a cui viene condotta. La componente non organica si ritrova sotto forma di cenere. L'aspetto più rilevante è che può essere attuata anche in assenza di ossigeno (tranne quello eventualmente già presente nel combustibile). Nel processo prevalgono quindi condizioni chimiche dette *riducenti* (il contrario di ossidanti), che nel caso specifico possono favorire il passaggio del cromo da trivalente a valenze inferiori, piuttosto che superiori (esavalente).

TEP: tonnellate equivalenti di petrolio. È una unità di misura convenzionale di energia basata sul potere calorifico dei combustibili ovvero sul costo in termini di combustibili fossili per produrre energia elettrica considerando le efficienze della tecnologia attuale, sia di produzione che di distribuzione. La convenzione usata in questo documento (Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia) è stata: $1 \text{ MWh} = 0,187 \text{ TEP}$ per energia elettrica (in media tensione); $1000 \text{ Nm}^3 = 0,82 \text{ TEP}$ ovvero $1000 \text{ kg} = 1,15 \text{ TEP}$ per metano; $1000 \text{ kg} = 1,08 \text{ TEP}$ per gasolio, (e BTZ per estrapolazione); Carbon fossile (coke) $1 \text{ t} = 0,74 \text{ TEP}$.

Trattamento termico: genericamente si riferisce a tutte quelle operazioni di raffreddamento e di riscaldamento che sono eseguite con l'intento di cambiare le proprietà chimiche o solo fisiche di un materiale. In questo contesto il termine è utilizzato per indicare trasformazioni (ed in particolare decomposizioni) del fango prodotto dagli impianti di trattamento delle acque di conceria. La sola specifica che verrà impiegata la temperatura per decomporre il fango non è sufficiente poiché è determinante la composizione dell'ambiente in cui il processo avviene ed in particolare il suo contenuto di ossigeno.

Vetrificazione: è una tecnologia per inertizzare (=bloccare) rifiuti tossico-nocivi permettendone quindi lo smaltimento in discarica o anche la loro valorizzazione, se il vetro ottenuto viene

utilizzato per produrre particolari manufatti. La tecnologia è rilevante in questo contesto per l'opportunità di trattare i residui solidi rimanenti dopo i trattamenti termici fatti sul fango. I principali pregi della vetrificazione sono l'immobilizzazione totale dei metalli pesanti e di eventuali elementi radioattivi, la capacità di trattare numerose tipologie di rifiuti anche nello stesso impianto, la possibilità di riutilizzare il vetro prodotto, limitando così l'uso delle discariche. Richiede l'uso di additivi vetrificanti (silicati) tipici dell'industria del vetro.