

Impianto Aquarno: l'introduzione di una sezione di digestione aerobica dei fanghi biologici.

Nicola Andreanini;

ingegnere chimico, Direttore Consorzio Aquarno SpA



1. Gli impatti ambientali dell'industria conciaria

L'attività di concia della pelle, probabilmente molto più di altre attività industriali, è contraddistinta da tutta una serie di potenziali impatti ambientali descritti di seguito:

- *) una forte idroesigenza*
- *) la conseguente produzione di grandi quantitativi di acque reflue inquinate*
- *) lo sviluppo di sostanze maleodoranti*
- *) un rapporto tra prodotto finito e materia prima altamente sbilanciato da cui derivano una serie di sottoprodotti secondari di scarto*

Un processo di rapida industrializzazione, come quello avvenuto nel dopoguerra nell'area del Comprensorio del Cuoi, ha comportato, in analogia a qualsiasi processo di questo genere un forte impatto ambientale.

Le problematiche di natura ambientale divennero ben presto insostenibili e imposero, prima che sussistessero obblighi di natura normativa, la realizzazione di impianti per il trattamento delle acque reflue scaricate dagli insediamenti produttivi. L'impianto di depurazione iniziò a funzionare, a Santa Croce sull'Arno a metà del 1974.

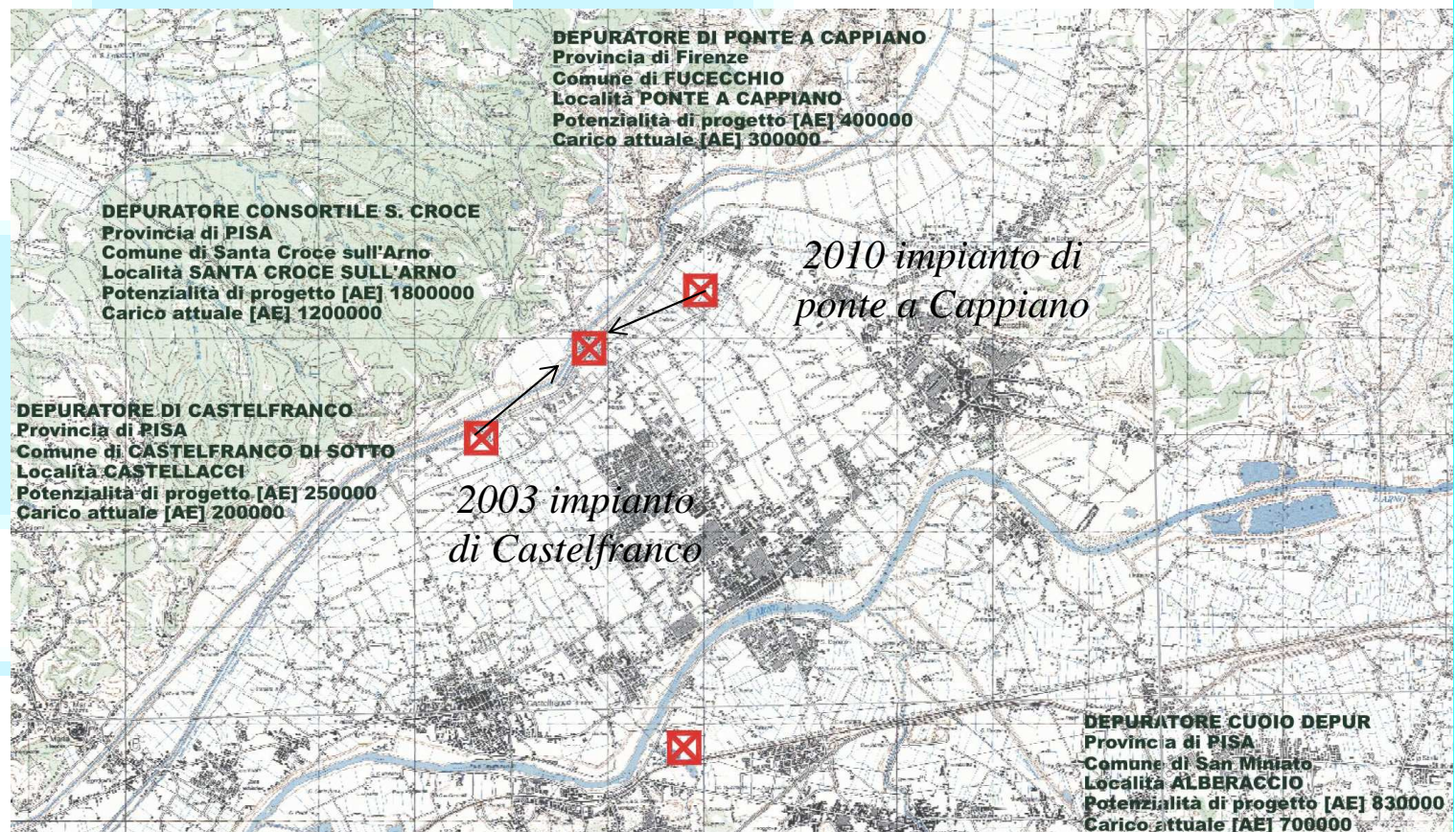


2. La realizzazione di impianti consortili

Per far fronte alla domanda di disinquinamento delle acque si sono realizzati, a partire dagli anni settanta, quattro centri per la depurazione delle acque. La scelta vincente operata nel comprensorio del Cuoio fu quella di realizzare strutture centralizzate di depurazione, quali impianti al servizio di aree industriali. Come sarà chiaro in seguito, una tale soluzione, diversamente dall'exasperazione dei trattamenti a piè di fabbrica, avrebbe consentito tutta una serie di vantaggi in relazione: alla continuità ed affidabilità di esercizio; alla possibilità di impiegare tecnologie di tipo avanzato, insostenibili in proprio dai singoli insediamenti; alla sensibile riduzione dei costi unitari di trattamento; alla migliore trattabilità dello scarico complessivo; alle maggiori garanzie di controllo e minor impatto ambientale globale. Purtroppo non si riuscì in quegli anni ad affrontare le problematiche su dimensioni territoriali maggiori di quella comunale e, in particolare per

quanto riguarda la riva destra del fiume Arno, si costruirono tre impianti di grandi dimensioni realizzati a distanza di pochi chilometri l'uno dall'altro.

Attualmente, anche alla luce della contrazione degli scarichi, stiamo completando un percorso di trattamento unico di tutti i reflui di riva destra d'Arno



3. L'impianto di Santa Croce sull'Arno

Le ragioni di questa concentrazione di reflui industriali deriva dalla ricerca di economie di scala in quanto impianti consortili di grosse dimensioni, pur consentendo una limitata flessibilità di esercizio, sono comunque gravati da tutta una serie di costi fissi che incidono sempre più pesantemente sul costo al metro cubo al diminuire degli ingressi. Si è quindi deciso di collettare sull'impianto di dimensioni maggiori i reflui precedentemente trattati presso gli altri centri.

I principali inquinanti, organici ed inorganici in ingresso sono contraddistinti dalle seguenti concentrazioni:

COD_f : 5.000 ÷ 6.000 mg/lt

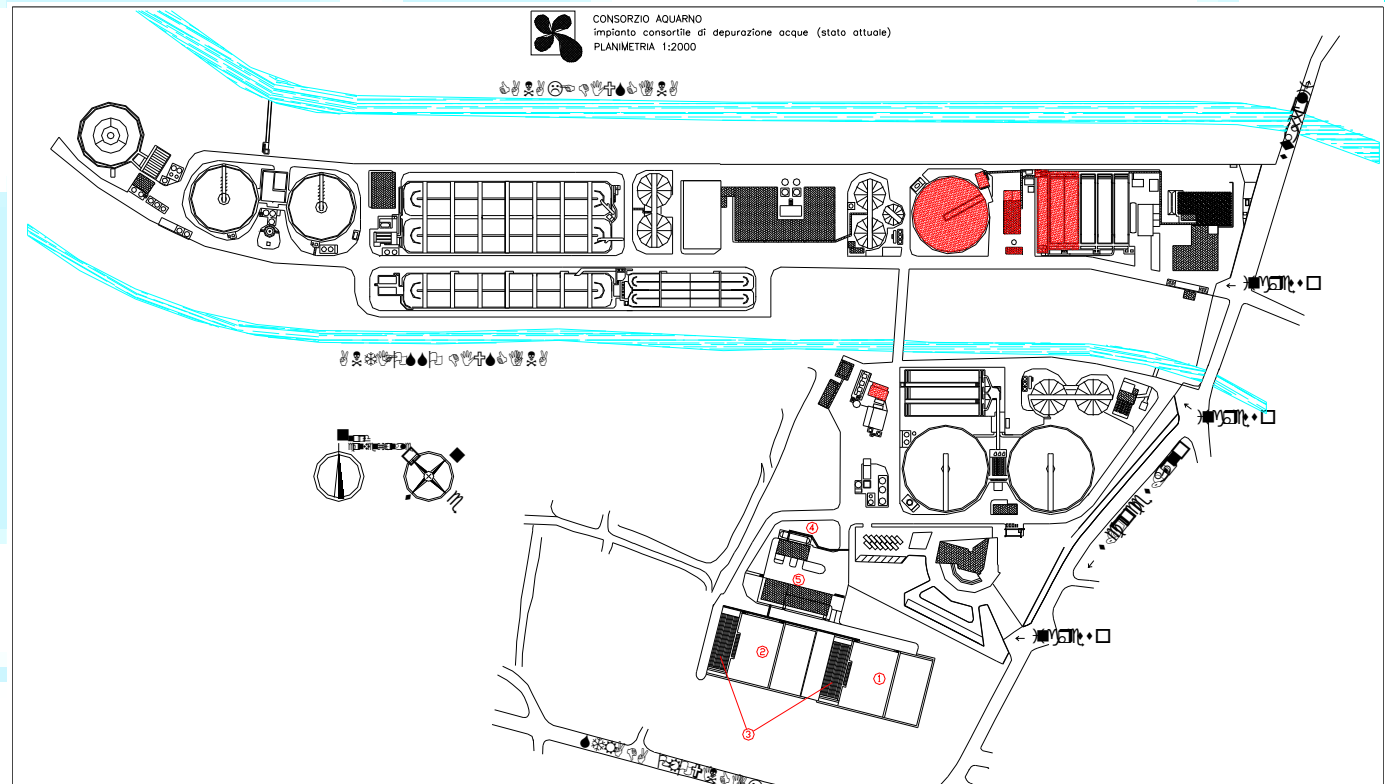
SS : 4.500 ÷ 5.000 mg/lt

COD_{iq} : 9.500 ÷ 11.000 mg/lt

$N-NH_3$: 300 ÷ 400 mg/lt

Cr_{3+} : 90 ÷ 150 mg/lt

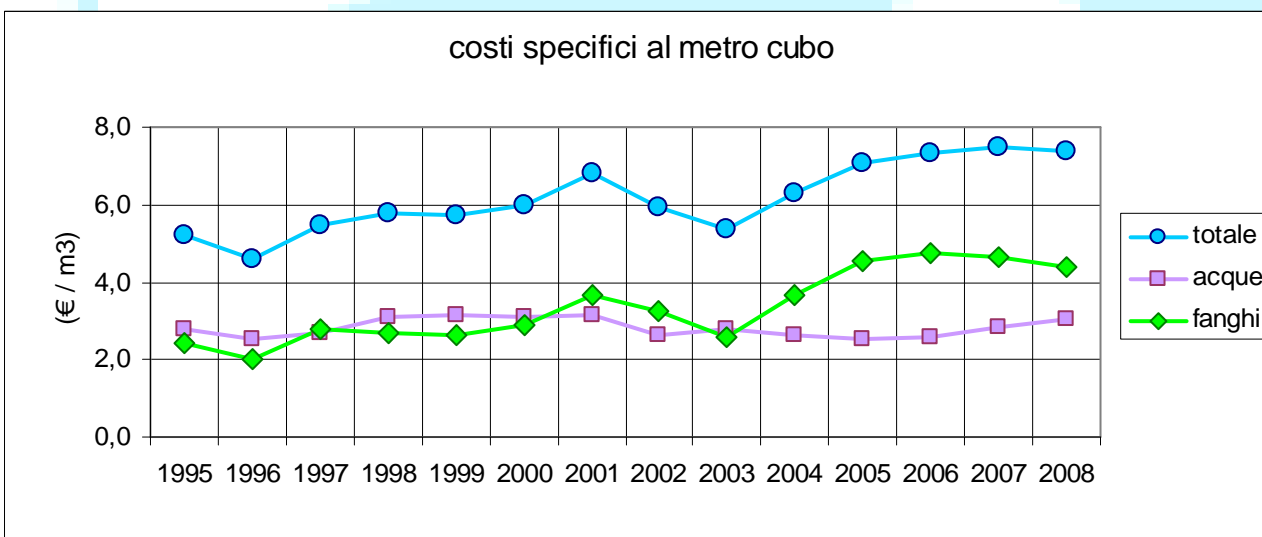
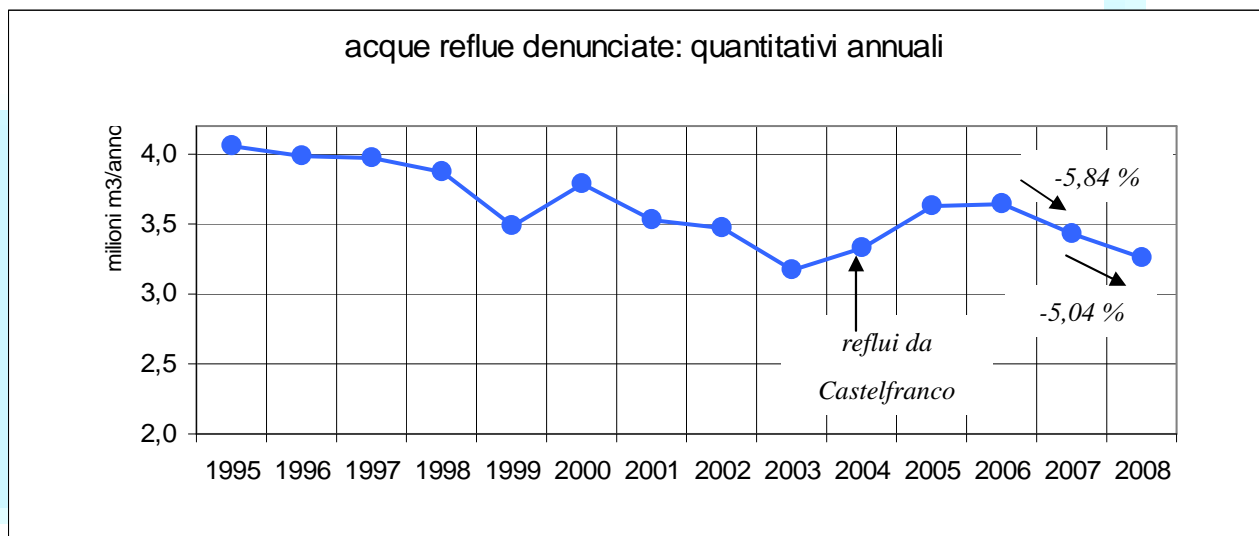
Il primo nucleo dell'impianto, in funzione dal 1974, è stato evidenziato in colore rosso nella planimetria di fianco.



4. Il costo per la depurazione dei reflui

Nel grafico riportata a destra si è cercato di esplicitare la contrazione degli ingressi di reflui industriali di cui si è accennato nelle diapositive precedenti. Si nota infatti la distanza tra i quantitativi attualmente trattati ed i valori storici che si attestavano intorno ai quattro milioni di metri cubi ed anche come, in occasione

dell'ultimo esercizio, si sia verificata una ulteriore contrazione del quantitativo di reflui in ingresso. Tale contrazione, pari al 5,04 % rispetto al valore dell'annualità precedente, si va a sommare ad un decremento di analoga entità (-5,84%) relativo al passaggio tra 2006 e 2007. Il quantitativo di reflui industriale trattati

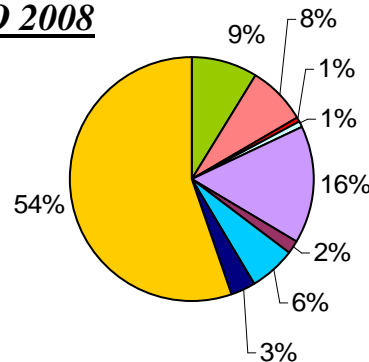


nell'anno 2008 risulta quindi inferiore, per oltre il dieci per cento, al quantitativo relativo all'anno 2006. Nel grafico a sinistra si è riportata la dinamica dei costi specifici. Il prezzo medio al metro cubo è suddiviso nelle due componenti della linea acque e della linea fanghi e si nota come, in tempi recenti, la seconda voce abbia rappresentato la quota preponderante.

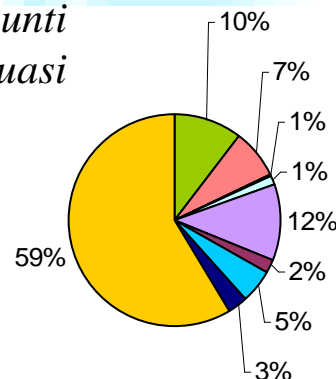
5. L'importanza percentuale delle varie voci di costo

Infatti, dai grafici a torta riportati nella presente diapositiva, si nota come, tra le diverse voci che compongono la spesa gestionale complessiva, il costo per la disidratazione e lo smaltimento dei fanghi abbia un ruolo del tutto rilevante rappresentando, con quasi il 55% della spesa totale nell'anno 2008, il primo valore per ordine di importanza. Come si può notare il costo per lo smaltimento dei fanghi, pur continuando a rappresentare più della metà del costo complessivo, riduce, grazie agli interventi descritti in seguito, la propria importanza di quasi quattro punti percentuali rispetto all'annata precedente e di quasi sette punti rispetto al 2006.

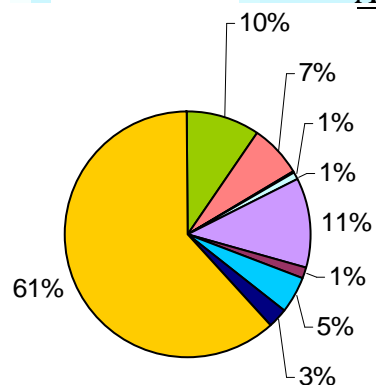
Importanza percentuale delle varie voci di spesa:
ANNO 2008



ANNO 2007



ANNO 2006



- REAGENTI
- LAVORO
- IMPOSTE
- ON. FIN. SVAL. CRED E SOPR.
- ENERGIA ELETTRICA
- COSTI ED ONERI VARI
- MANUTENZIONI
- ONERI DIVERSI
- SMALTIMENTO FANGHI



Gli oneri finanziari comprendono anche sopravvenienze passive e ammortamenti

6. Gli obblighi legislativi ed il costo di smaltimento dei fanghi



Le ragioni dall'aumento della componente di costo relativo allo smaltimento dei fanghi sono da ricercarsi principalmente nella decisione della regione Toscana di proibire lo smaltimento a discarica dei fanghi residuali della depurazione. Dal 1999 al 2001 si pertanto completata la progressiva dismissione del comparto di disidratazione dei fanghi (effettuata con l'ausilio di cinque filtropresse) dell'impianto Aquarno ed è stato messo in esercizio un nuovo impianto realizzato per soddisfare i nuovi obblighi normativi denominato Ecoespanso. Presso l'impianto di Ecoespanso la disidratazione dei fanghi

viene effettuata attraverso l'ausilio di centrifughe. Aquarno ed Ecoespanso sono collegati attraverso un fascio tubiero in cui transitano sia il fango ispessito sia il chiarificato in uscita dalle centrifughe che torna ad Aquarno per completare il ciclo di depurazione. L'impianto di Ecoespanso è stato costruito per trasformare i fanghi di depurazione in prodotti riutilizzabili in maniera da evitare lo smaltimento in

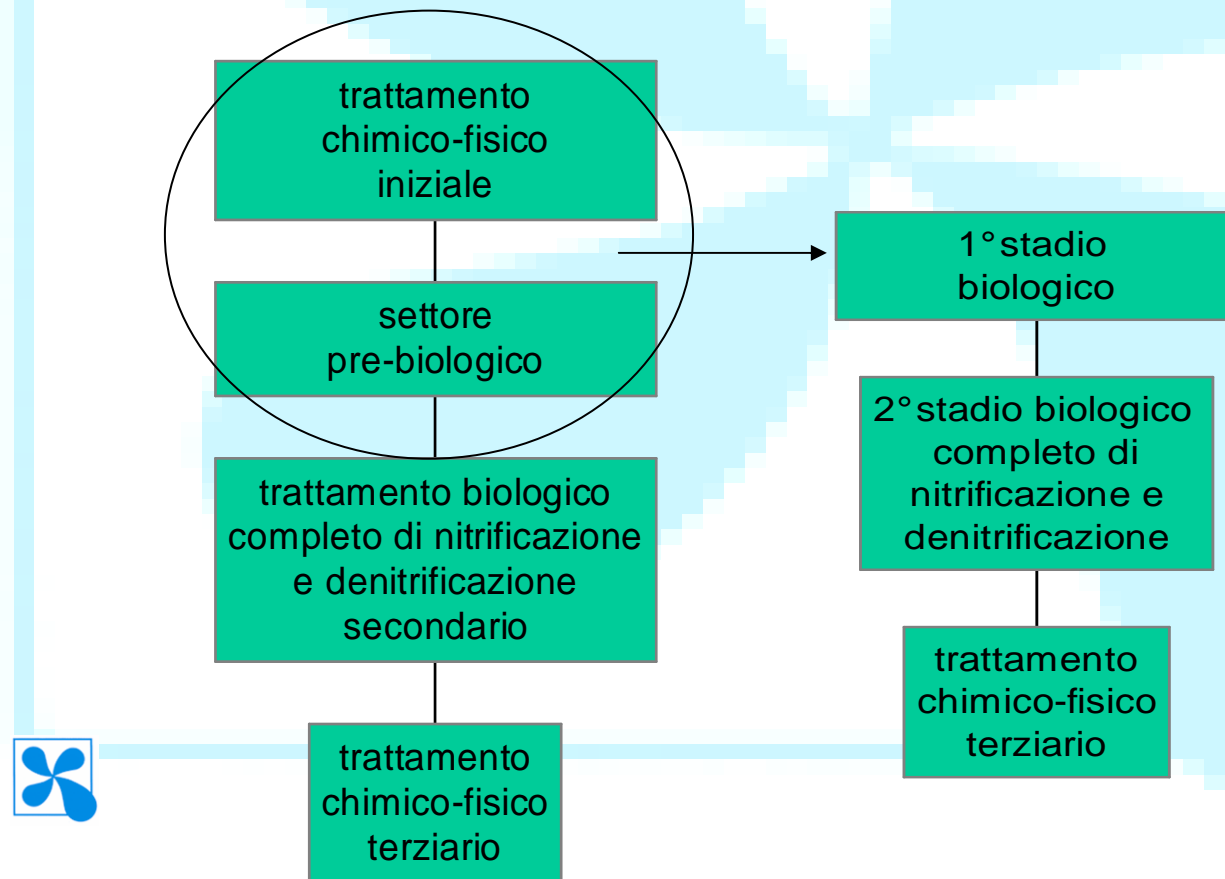
discarica. Pertanto il processo di trasformazione effettuato prevede, a valle della fase di centrifugazione, due ulteriori fasi di essiccamento e di trattamento termico. Le ceneri residuali di questi trattamenti vengono attualmente utilizzate come materiali per la bitumatura delle strade e come filler nella produzione di calcestruzzi.



7. L'impianto "tutto biologico": le variazioni nel processo depurativo

Parallelamente alla realizzazione di Ecoespanso, sempre alla fine degli anni novanta, si era portata a compimento anche una opera di adeguamento dell'impianto aquarno.

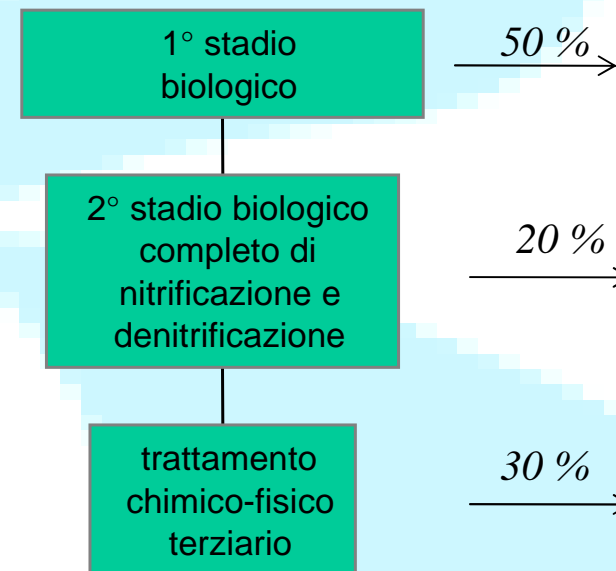
La differenza sostanziale tra il processo depurativo precedente ed il nuovo schema è relativa alla trasformazione del vecchio stadio di trattamento chimico-fisico iniziale in un nuovo stadio biologico. Gli schemi a blocchi riportati di sotto descrivono, in estrema sintesi, le due diverse conformazioni.



8. L'inserimento di una sezione di digestione aerobica

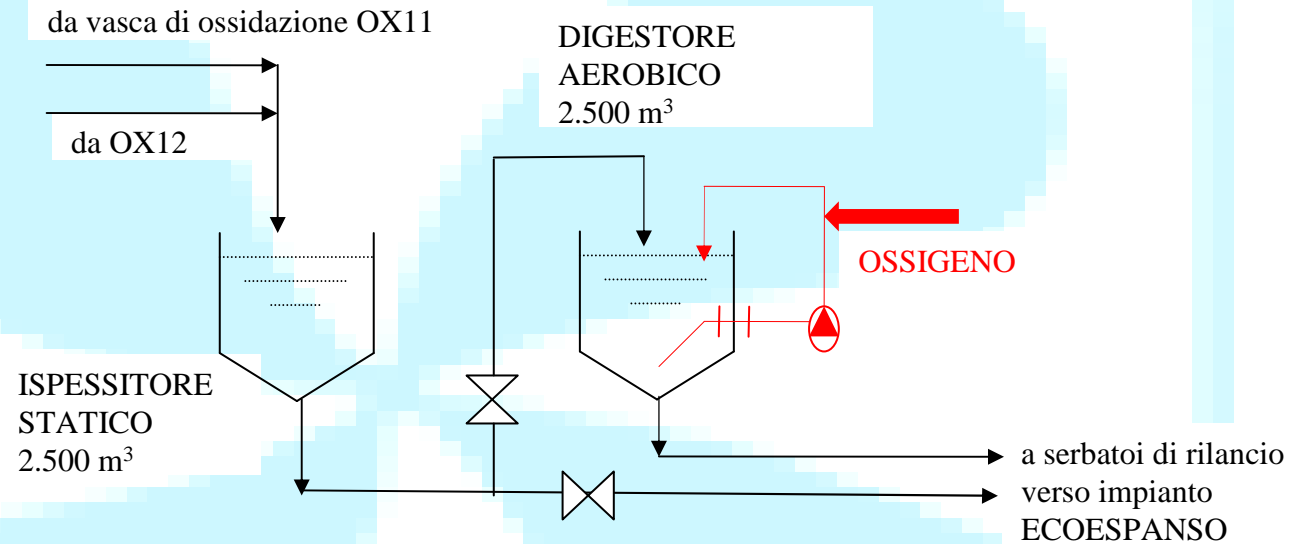
Nonostante gli ottimi risultati raggiunti sul fronte della riduzione della produzione di fanghi ottenuti con il nuovo arrangiamento del “tutto biologico”, si è deciso di continuare nell’opera di minimizzare dei fanghi introducendo una sezione di digestione aerobica passando quindi dagli interventi sulla linea acque a quelli sulla linea fanghi.

Come si può notare dallo schema riportato a destra, il maggiore quantitativo di fanghi estratti dai vari stadi di trattamento è quello proveniente dal primo stadio biologico che rappresenta, da solo, più del 50% della produzione totale di fango. La digestione aerobica è un processo ben conosciuto di cui sono sufficientemente chiare le modalità di dimensionamento, i parametri di controllo caratteristici e l’ampiezza degli obiettivi ottenibili. Per tali motivi si è ritenuto superfluo effettuare una sperimentazione su piccola scala ma è stata programmata una verifica su di una scala più ampia.



9. La scelta del punto di inserimento

Una tale scelta è motivata anche dalle necessità piuttosto ridotte di tale processo (in pratica basta la disponibilità di ossigeno e la realizzazione di un miscelamento tramite pompaggio) che richiede un investimento modesto (in pratica la sola voce importante si riduce alla realizzazione della vasca necessaria). A metà dell'anno 2005 si è iniziato a pensare dove poter "recuperare" la volumetria necessaria alla realizzazione di una prova di questo genere. Dopo alcuni mesi di tentativi si è riusciti ad utilizzare, senza ricadute negative sul processo depurativo, una sola delle due vasche di



ispessimento fanghi del primo stadio biologico. In questa maniera è stato possibile attrezzare il secondo ispessitore per la funzione di digestione dei fanghi. Nelle due fotografie si può notare, sia esternamente che



dalla parte interna dell'ispessitore, il foro realizzato per permettere l'estrazione di una corrente di fango da ossigenare e reimmettere all'interno

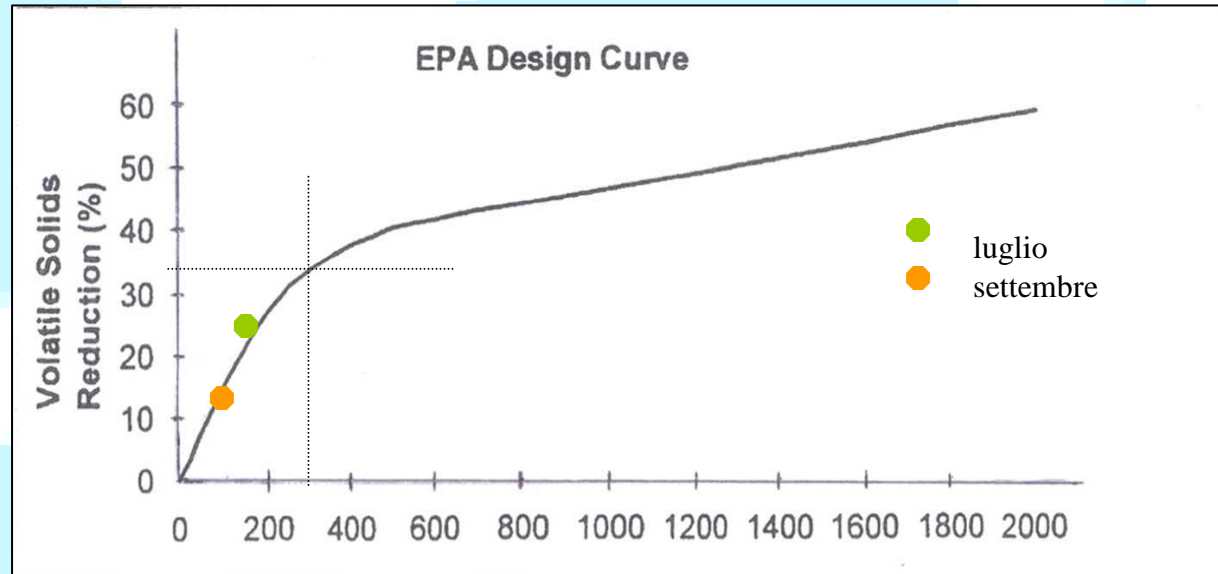
10. Le volumetrie recuperate



11. La digestione aerobica termofila autotermica

Recuperando una volumetria esistente non è stato di fatto necessario effettuare un dimensionamento vero e proprio del digestore. La scelta forse più caratterizzante è stata quella di realizzare un digestore ad ossigeno puro. Una tale scelta è stata motivata dal tentativo di realizzare una digestione aerobica termofila autotermica in grado cioè di funzionare ad alte temperature senza l'apporto di calore dall'esterno.

La scelta di lavorare nel campo termofilo è dovuta al fatto di cercare di incrementare al massimo le rese di abbattimento. Come si può infatti notare nel grafico riportato a lato, nel dimensionamento di uno stadio di digestione aerobica assumono particolare importanza due variabili di processo: il tempo di residenza [giorni] e la temperatura del digestore [°C].



Maggiore è il prodotto di questi due fattori maggiore è la riduzione di fanghi ottenibili. La curva evidenzia appunto la correlazione tra il prodotto citato e l'abbattimento dei fanghi. Come si può notare già per valori di questo prodotto compresi nell'intervallo 200-300 si ottengono riduzioni percentuali di solidi volatili superiori al 30%. Nella conformazione evidenziata nelle diapositive precedenti (giugno-settembre 2005) si sono ottenuti i primi risultati: a) la temperatura si è mantenuta su valori elevati, grazie al fatto che sono comunque piuttosto caldi i fanghi estratti dalle vasche ed al fatto che il digestore ha mostrato un buon isolamento termico, nell'intorno dei 45 °C; b) gli abbattimenti del fango sono risultati pari al 22,5 % degli SST, nel mese di luglio, ed al 12,5 % , nel mese di settembre. Riportando tali dati all'abbattimento dei SSV ed utilizzando anche le indicazioni di temperatura si ottengono i due punti di funzionamento evidenziati.

12. La distribuzione di ossigeno

Avendo scelto di realizzare una digestione ad ossigeno puro, abbiamo richiesto lo studio e la progettazione del sistema di introduzione dell'ossigeno e di scioglimento dello stesso alla SIAD (società italiana acetilene e derivati) con cui è attivo da molti anni un rapporto di fattiva collaborazione. Una particolare raccomandazione era stata richiesta soprattutto in relazione al miscelamento del reattore visto che l'dea era quella di cercare di lavorare con un



flusso di fango particolarmente concentrato che ci consentisse di aumentare i tempi di residenza. La progettazione della SIAD ha portata allo sviluppo di un sistema organizzato su due linee parallele che,

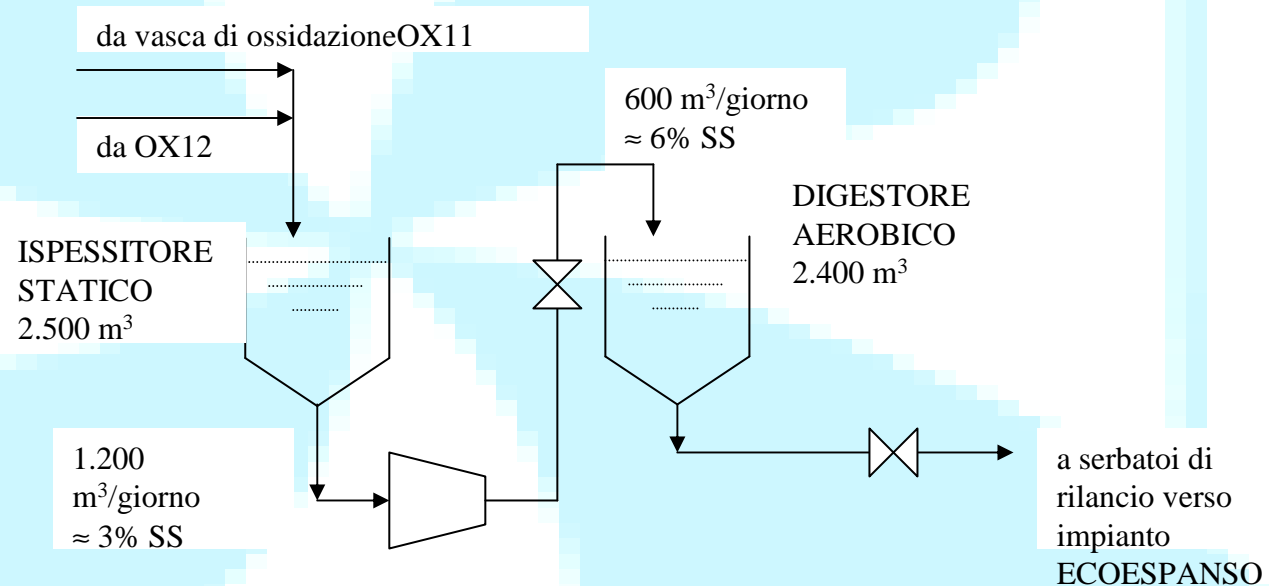
attraverso l'utilizzo di pompe centrifughe, potesse garantire l'estrazione di un flusso di fango dal digestore che, dopo essere stato ossigenato, potesse essere reintrodotta nel sistema. Nelle due fotografie sono evidenziati gli elementi essenziali di tale sistema. A destra in alto si possono vedere le pompe centrifughe ed il reattore di contatto fango/ossigeno mentre a sinistra è riportato il collettore con sei eiettori che consente la reintroduzione del fango opportunamente ossigenato nel sistema.



13. Le fasi successive

Da novembre 2006 è stata effettuata una ulteriore fase sperimentale che ha previsto l'utilizzo, a monte della fase di digestione, un ispessimento dinamico dei fanghi per ottenere una concentrazione degli stessi, una conseguente riduzione dei volumi ed un aumento dei tempi di residenza nel digestore, secondo lo schema sotto riportato. L'obiettivo era appunto quello di concentrare i solidi estratti dall'ispessitore da un 3% a circa un 6% in maniera da ottenere un dimezzamento dei volumi in transito e tempi di residenza all'interno del digestore di circa 4 giorni.

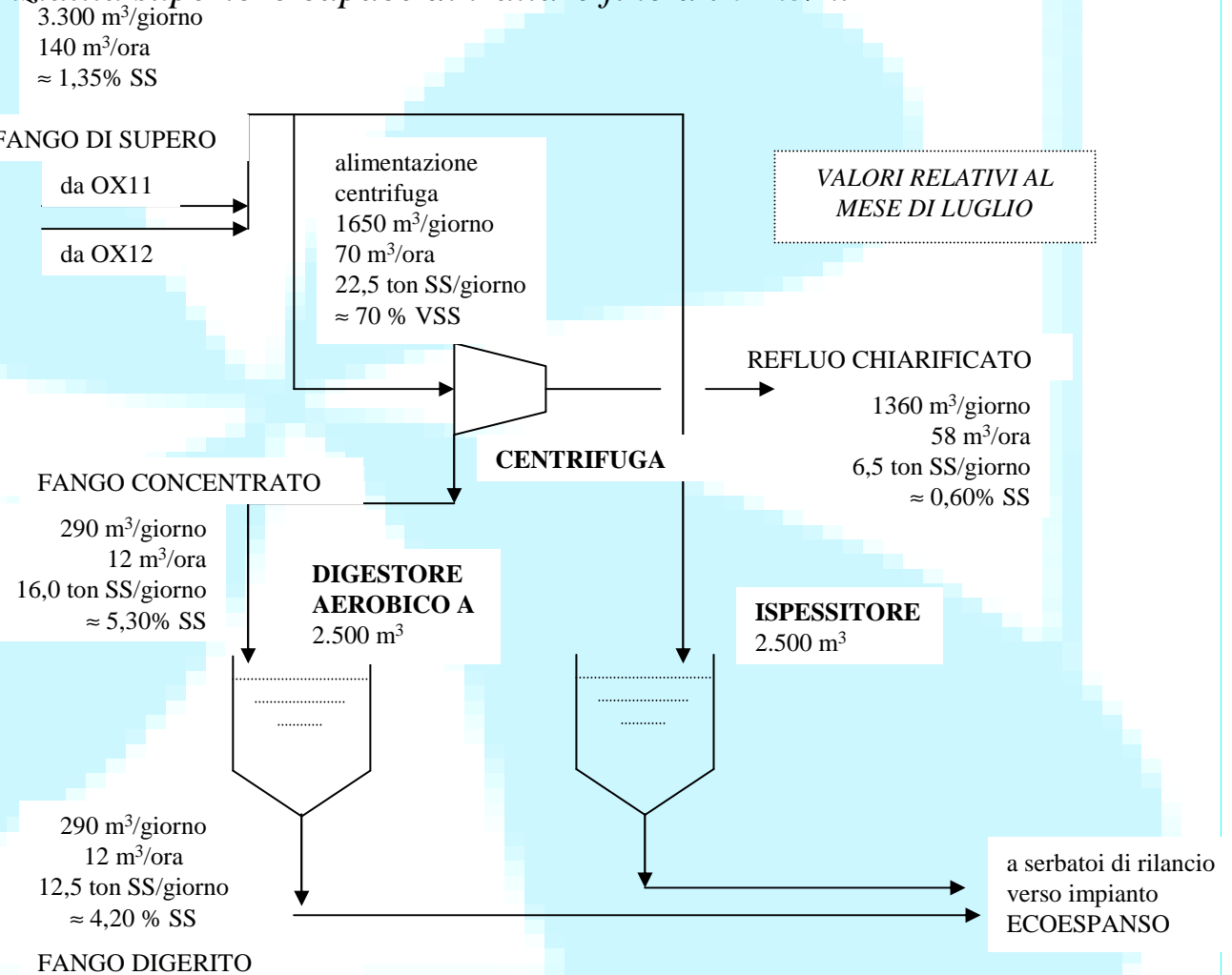
Uno dei risultati più interessanti di questa fase è stato sicuramente quello di aver potuto verificare come fosse possibile ottenere la concentrazione dei fanghi desiderata senza necessità di dosare polielettroliti.



14. Le fasi successive

Nel corso dell'anno 2007 la sperimentazione relativa ai risultati ottenibili con un processo di digestione aerobica dei fanghi è continuata. Nel primo quadrimestre con una centrifuga da 30 m³/h Nei sei mesi successivi con una macchina di potenzialità superiore capace di trattare fino a 70 m³/h.

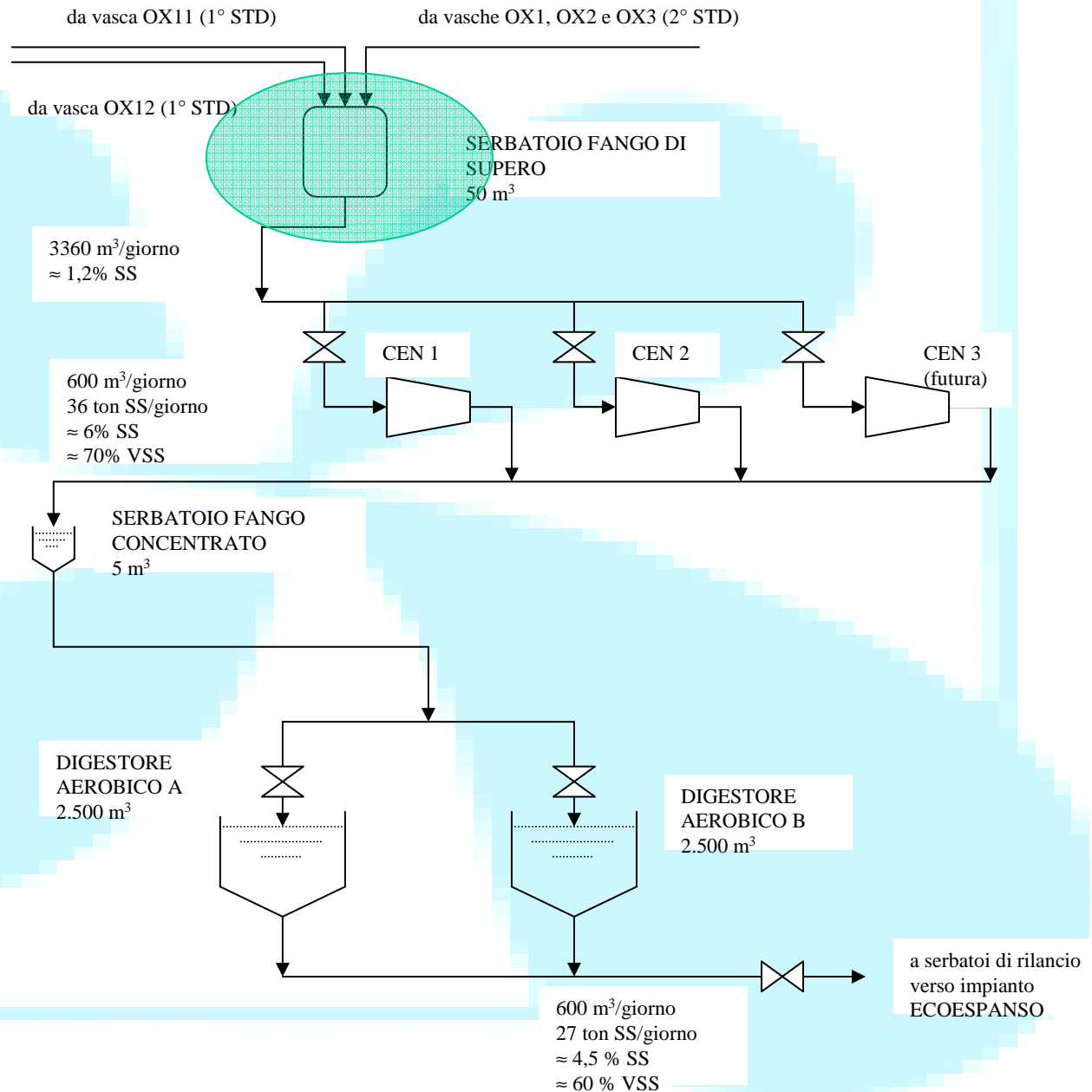
L'arrangiamento è stato diverso dalle prove precedenti in quanto si è preferito concentrare il flusso di fango di supero sottoponendo al processo di digestione aerobica l'intero quantitativo di fango estratto da una delle due vasche del primo stadio biologico. Nella figura si può notare come, in questo periodo, il 50% del flusso di fango di supero estratto dalle due vasche di ossidazione (OX11 e OX12) del primo stadio biologico venga alimentato alla centrifuga e quindi al digestore. Nel corso delle prove effettuate, in particolare nei mesi di maggio e giugno, si è avuto modo di verificare come, nelle condizioni di portata sopra specificate, il quantitativo di fango eliminabile con una tecnologia di questo genere risulti superiore al 20% dei fanghi trattati. La riduzione dei fanghi del mese di LUGLIO (a cui si riferiscono i valori in figura) ha raggiunto le 3,5 tonnellate di sostanza secca al giorno .



15. L'arrangiamento attuale

A partire dall'inizio dell'anno 2009, abbiamo messo in marcia anche una seconda centrifuga che, insieme ad ulteriori interventi, ha trasformato la fisionomia del comparto secondo le modalità illustrate nelle figura a destra. Allo stato attuale i principali elementi del sistema sono i seguenti:

- il serbatoio SF
- la sezione di centrifugazione
- il serbatoio SFC
- la sezione di digestione
- i pompaggi
- il sistema di controllo
- lo scambio termico



16. Particolari di centrifughe e pompe volumetriche

Come anticipato nelle diapositive precedenti si sono utilizzate delle pompe centrifughe per la miscelazione e lo scioglimento dell'ossigeno all'interno dei digestori mentre sono state installate pompe volumetriche a lobi per tutti quei flussi caratterizzati da portate ridotte come il flusso in alimentazione alle centrifughe, il flusso di fango concentrato alimentato ai digestori ed il flusso di fango estratto dai digestore ed inviato ad Ecoespanso. Relativamente ai materiali adoperati si deve sottolineare come, in ragione della presenza di ossigeno disciolto, siano stati proprio i flussi di fango stabilizzato, sia il ricircolo che



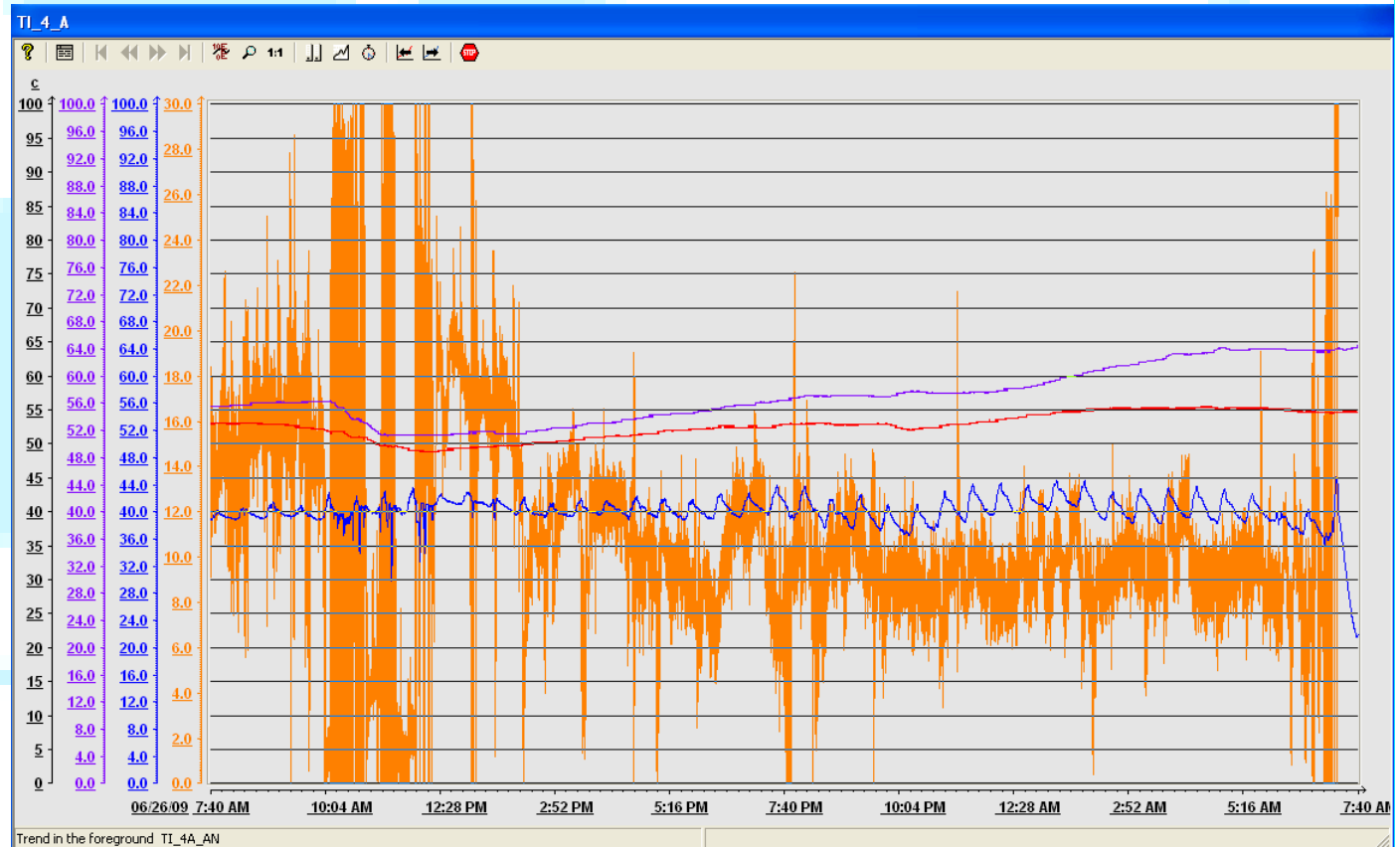
l'estrazione dai digestori, quelli che ci hanno comportato le maggiori problematiche. Infine, per quanto riguarda le centrifughe, si sono scelte delle macchine caratterizzate da un sistema automatico di controllo della concentrazione della concentrazione di fango in uscita. In pratica da un sensore che permette la misura della concentrazione di solidi presente nel flusso in uscita, viene derivato il segnale che, attraverso un loop di controllo, consente la regolazione della macchina in maniera da garantire il set-point desiderato. Finora le due macchine si sono utilizzate senza effettuare dosaggio di polielettrolita.

17. Le condizioni operative

Attraverso il sistema di controllo introdotto si è cercato di monitorare sia la buona funzionalità di tutto il sistema che di poter disporre di quei dati che ci consentissero di determinare con sufficiente precisione i quantitativi di solidi in transito. Si è pertanto previsto di monitorare:

In relazione alle condizioni chimiche: la temperatura del fango alimentato e del fango estratto dai digestori (nel grafico inserito in basso si sono inserite proprio queste tre variabili) ed il potenziale redox dei due flussi di fango. Il monitoraggio delle condizioni chimiche è naturalmente completato dalle analisi di laboratorio. In relazione alle condizioni fisiche: i livelli di liquido presenti nelle varie volumetrie e le portate del fango alimentato alle centrifughe, del fango concentrato alimentato ai digestori e del fango estratto da questi ultimi.

Infine particolare attenzione è stata dedicata al monitoraggio di quelle grandezze direttamente correlate con la determinazione delle spese operative. Si è infatti previsto di monitorare in continuo sia i consumi di ossigeno che i consumi energetici.



18. Il bilancio economico

Nel seguito si sono cercati di riassumere le principali spese (sia operative che di investimento) che hanno caratterizzato il comparto in esame negli ultimi mesi per cercare di definire un costo di massima di un trattamento di questo genere. Dato il periodo piuttosto breve di funzionamento nella situazione attuale non si devono escludere ottimizzazioni successive. I costi operativi di cui si è tenuto di conto sono quelli dovuti al consumo di ossigeno ed all'energia elettrica in quanto non si sono utilizzati altri reattivi come ad esempio il polielettrolita. Data la dimensione dell'impianto e la presenza di personale h24 non è stato necessario ricorrere a manodopera aggiuntiva.

Pertanto il costo complessivo medio mensile può essere stimato nei termini sotto riportati:

<i>consumo di ossigeno (5 ton/giorno)</i>	<i>9.800,00 €/mese</i>
<i>energia elettrica (7.200 kwh/giorno)</i>	<i>24.500,00 €/mese</i>
<i>polielettrolita</i>	<i>0,00 €/mese</i>
<i><u>costo di investimento (7 anni e 11 mensilità)</u></i>	<i><u>9.800,00 €/mese</u></i>
<i>totale</i>	<i>44.100,00 €/mese</i>

Mentre per quanto riguarda i quantitativi di fango eliminati si possono effettuare le seguenti stime:

<i>fango eliminato (6,5 ton SS/giorno)</i>	<i>195 ton/mese</i>
<i>costo specifico di trattamento</i>	<i>226 €/ton SS</i>



