



**ISTITUTO REGIONALE  
DI RICERCA  
DELLA LOMBARDIA**

PROGRAMMA DELLE RICERCHE STRATEGICHE 2009  
GIUNTA REGIONALE

Depurazione delle acque reflue urbane:  
tecnologie innovative idonee a  
contesti molto urbanizzati

*Codice IReR: 2009B007*

*Project leader: Alberto Ceriani  
Assistente al coordinamento: Marina Riva*

Sintesi

Milano, dicembre 2010

La ricerca è stata affidata ad IReR (oggi Éupolis Lombardia) nell'ambito del Piano di ricerche strategiche 2009 dalla Direzione Generale Ambiente, Energia e Reti della Regione Lombardia

*Responsabile di progetto:* Alberto Ceriani, IReR

*Assistente al coordinamento:* Marina Riva, Referente di ricerca IReR

*Responsabile regionale:* Giovanni Mancini, D.G. Ambiente, Energia e Reti della Regione Lombardia

*Gruppo di lavoro tecnico:* Marco Parini, Mila Campanini, Nadia Chinaglia, D.G. Ambiente, Energia e Reti della Regione Lombardia

*Gruppo di ricerca:* Camillo Piazza, presidente CLASS onlus; Mario Amadasi, collaboratore CLASS onlus e responsabile scientifico del progetto di ricerca; Alberto Albertella, collaboratore di ricerca IReR; Carmen Vaglia, consulente IReR.

## Indice

Capitolo 1	
<i>Considerazioni introduttive</i>	5
Capitolo 2	
<i>Tecnologie innovative per la riduzione dei fanghi di depurazione</i>	7
2.1. Inquadramento delle principali tecnologie	7
2.2. Descrizione delle singole tecnologie: principali risultati ed evidenze	9
2.3. Inserimento delle tecnologie innovative nelle realtà esistenti e quadro di sintesi dei criteri di adattabilità	20
2.4. Analisi di contesto e ricognizioni conoscitive sugli impianti oggetto di studio	23
Capitolo 3	
<i>Valutazione di fattibilità</i>	27
3.1. Valutazioni di fattibilità ed analisi costi - benefici delle applicazioni di tecnologie innovative agli impianti esistenti	27
3.2. Significato economico del costo evitato	28
Capitolo 4	
<i>Considerazioni conclusive</i>	35



## Capitolo 1

### *Considerazioni introduttive*

La problematica del trattamento e smaltimento dei fanghi prodotti nei processi di depurazione delle acque reflue urbane sta assumendo un'importanza crescente.

Il completamento dell'ottemperanza a quanto previsto dalla direttiva 271/91/CE, concernente il trattamento delle acque reflue urbane, nonché il suo recepimento a livello regionale, richiede il ricorso a trattamenti di depurazione più spinti di quelli attualmente applicati, con un conseguente incremento della produzione di fanghi.

Tale tendenza in aumento è peraltro già riscontrabile dall'andamento dei quantitativi di fanghi prodotti in Lombardia, passati da circa 729.000 tonnellate di fango tal quale del 2002 a 890.000 del 2008 (ARPA 2008). Con riferimento alle modalità di gestione attualmente adottate sul territorio regionale, i dati disponibili mostrano che più del 90 % dei fanghi prodotti dalla depurazione di acque reflue urbane viene riutilizzato su suolo agricolo.

A livello europeo sono attualmente in corso le attività preparatorie per la revisione della direttiva 278/86, che disciplina il riutilizzo dei fanghi biologici in agricoltura. Tra le possibili novità in fase di valutazione da parte della Commissione Europea c'è l'introduzione di più stringenti limitazioni sulla qualità dei fanghi riutilizzabili (si veda a tale proposito il documento di lavoro elaborato dalla Commissione per le consultazioni preliminari<sup>1</sup>).

Regione Lombardia, con la d.g.r. n. 9953 del 29 luglio 2009, ha previsto la graduale sospensione dell'attività di spandimento in agricoltura dei fanghi di depurazione di acque reflue urbane - secondo una tempistica territorialmente differenziata tra il 2011 e il 2013 - anche per la concorrente necessità di consentire il riutilizzo in agricoltura dei reflui zootecnici (il cui impiego è soggetto alle limitazioni derivanti dall'applicazione della Direttiva nitrati, 91/676/CE).

La combinazione della tendenza all'aumento della produzione e del perdurare di un'ampia prevalenza dello spandimento su suolo agricolo quale ultimo destino, tenuto conto dell'evoluzione in corso della normativa di settore e delle politiche di pianificazione adottate da Regione Lombardia, lasciano intravedere una crescente

---

<sup>1</sup> Working Document "Sludge and Biowaste", 21 September 2010, Brussels

criticità nella gestione dei fanghi, con le conseguenti ricadute di ordine economico e organizzativo sul sistema dei servizi idrici.

Ad un'evoluzione più severa e restrittiva delle normative ambientali, sembra pertanto che dovrà corrispondere una maggiore complessità nel gestire, in forme sostenibili sul piano tecnico-economico, le diverse soluzioni adottate sinora sul territorio per la collocazione finale dei fanghi.

D'altra parte il fango di risulta del processo di depurazione è assimilato a un rifiuto e la direttiva 98/2008/CE su questo tema ha nel frattempo posto ancora più attenzione sulla necessità di ridurre la produzione alla fonte.

È evidente che in questa prospettiva la gestione dei fanghi va opportunamente riconsiderata tenendo conto dell'opportunità economica e sociale di avviare sul territorio, attraverso criteri e tecnologie disponibili di tipo innovativo, un programma alternativo di interventi finalizzati al contenimento e alla riduzione della produzione di fanghi. I criteri e le tecnologie disponibili non rappresentano tuttavia un indirizzo unico generalizzabile per tutte le problematiche presenti ma, viceversa, si differenziano in una pluralità di soluzioni sia impiantistiche che gestionali la cui applicabilità, caso per caso, comporta a monte attente valutazioni e scelte in termini di fattibilità tecnico-economica.

Alla luce di quanto detto la ricerca si propone in particolare di individuare e valutare processi innovativi di trattamento delle acque reflue, volti in via prioritaria alla minimizzazione della produzione di fanghi, con particolare attenzione a quelle soluzioni tecnologiche che appaiono più idonee se applicate a contesti territoriali intensamente urbanizzati.

Tra questi in Lombardia un caso emblematico è rappresentato dal territorio compreso tra i bacini dei fiumi Olona e Lambro, dove è concentrato circa il 50% degli abitanti equivalenti industriali e più del 40% degli abitanti equivalenti di origine civile. Da tale area è stato pertanto selezionato un set di casi studio sul quale testare concretamente l'applicabilità, in termini di fattibilità tecnico-economica, dei processi innovativi e delle soluzioni impiantistiche precedentemente delineate. Il campione di indagine è in particolare comprensivo di 18 impianti di depurazione superiori ai 50.000 A.E, una soglia considerata rappresentativa sul piano ambientale per quanto riguarda la produzione di fanghi e oltre la quale si ritiene possano trovare un'adeguata giustificazione economica gli interventi strutturali e tecnologici, come pure le varianti gestionali, finalizzati alla minimizzazione dei fanghi.

Nel prosieguo di questo documento verranno sintetizzate le principali peculiarità delle tecnologie prese in considerazione e i fattori tecnici e di contesto che ne influenzano il campo di applicabilità; saranno infine sintetizzati gli elementi e le risultanze della ricerca relativi alla fattibilità economica e quindi all'opportunità di adozione delle tecnologie medesime, nonché le risultanze delle valutazioni condotte sui casi studio citati.

## Capitolo 2

### *Tecnologie innovative per la riduzione dei fanghi di depurazione*

#### 2.1. Inquadramento delle principali tecnologie

Le tecnologie per la riduzione dei fanghi (TRF), applicabili su un depuratore biologico di acque reflue, possono essere suddivise in tre tipologie differenti:

- TRFa: preventive. Applicate sulla linea acque esse intervengono sul processo di produzione del fango;
- TRFf: terminali. Applicate sulla linea fanghi esse intervengono sul fango già prodotto dalla depurazione;
- TRFg: gestionali. Consistono in interventi di tipo gestionale (regolazione e controllo del processo) sui sistemi esistenti a livello informatico e telematico.

Una considerazione comune a tutte le tecnologie sinora applicate sulle linee di processo è che la loro efficacia è dovuta ad un effetto di rottura e degradazione delle cellule componenti la biomassa attiva del fango, definita appunto LISI cellulare e provocata da determinate azioni fisiche, chimiche o biochimiche esercitate sulle cellule.

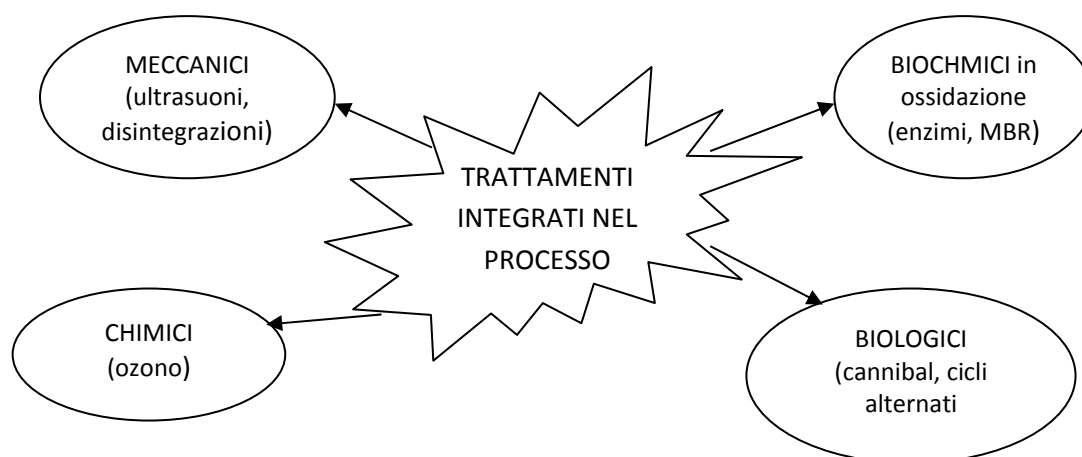
La disintegrazione non è tuttavia fine a se stessa, ma viene condotta in determinate fasi del processo quali ad esempio nei circuiti di ricircolo fanghi di supero o di prelievo e reintegro di fango nelle zone di ossidazione, nell'alternanza di ambienti aerobici/anaerobici/anossici ecc..

Le tecnologie più importanti applicate e sperimentate a livello industriale sulla linea acque sono di seguito riepilogate (cfr. Tab. 2.1 e Fig. 2.1).

**Tabella 2.1 - Principali tecnologie di riduzione dei fanghi applicate alla linea acque**

TECNOLOGIE BIOLOGICHE	BREVETTI E SISTEMI
- Biolisi Enzimatica	Biolisys E Ondeo
- Cannibal	K Siemens, Ing. Ambiente
- Lisi Enzimatica Su Reattori MBR	Koche, Siemens, Kubota, G.E.
TECNOLOGIE CHIMICO-FISICHE	
- Ozonolisi	Air-Liquide, Rivoira
- Biolisi O	Ondeo
- Disintegrazione Ad Ultrasuoni	Ladurner
- Disintegrazione Meccanica	Lysate, Baker

**Figura 2.1 - Tecnologie preventive di processo TRFa: trattamenti integrati al processo**

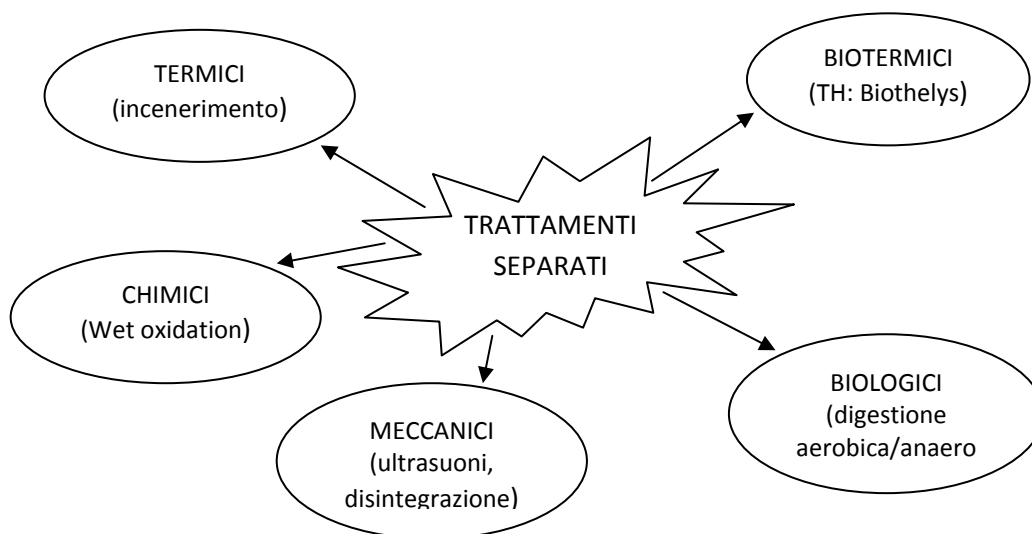


In Tabella 2.2 e Figura 2.2 sono invece delineate le tecnologie applicate sulla linea fanghi e su fanghi già prodotti.

**Tabella 2.2 - Principali tecnologie di riduzione dei fanghi applicate alla linea fanghi**

TECNOLOGIE	BREVETTI E SISTEMI
- Termolisi (Idrolisi Termica)	Biotelis, Cambi
- Digestione Enzimatica	Digelis-Turbo
- Ossidazione ad umido	Zimpro, Athos, Vitech-Granit
- Disintegrazione Ad Ultrasuoni	Dual Top
- Disintegrazione Meccanica	Ladurner
	Lysate, Baker

**Figura 2.2 - Tecnologie terminali di processo TRFf : trattamenti separati**



Infine in Tabella 2.3 sono evidenziate le tecnologie applicate su entrambe le linee di impostazione gestionale.

**Tabella 2.3 - Tecnologie gestionali di processo TRFg: trattamenti integrati**

TECNOLOGIE	BREVETTI E SISTEMI
- Enzimi	Eurovix
- Cicli Alternati CA	Ingegneria Ambiente

## 2.2 Descrizione delle singole tecnologie: principali risultati ed evidenze

### ***Biolysis - E***

Descrizione del sistema - Installato nel contesto del bacino biologico, questo processo, poco ingombrante, agisce sulla popolazione batterica limitandone la crescita, e aumentando nello stesso tempo i fenomeni di lisi. Biolysis E agisce per mezzo di stress enzimatico. Questo processo necessita di un ispessimento dei fanghi estratti dal bacino biologico prima di essere introdotti in un reattore termofilo.

L'azione enzimatica, come si è detto, si esplica più intensamente nei riguardi di

alcune popolazioni batteriche a struttura maggiormente ramificata, riducendo i fenomeni di *bulking*. Questo processo consiste nell'attivare e "coltivare", nelle condizioni specifiche di temperatura e di ossigenazione, un battere presente normalmente sotto forma di sporula nelle acque residue urbane. In ambiente termofilo (50° - 80°C) tale popolazione batterica diviene attiva e produce un cocktail di enzimi che aggrediscono la sostanza organica, dunque anche le popolazioni batteriche mesofile, generando un'azione di stress che favorisce due fenomeni:

- aumento della lisi cellulare e decesso dei batteri mesofili;
- aumento dei fabbisogni energetici dei batteri mesofili per il loro mantenimento e la loro ricostituzione.

Il fango attivo prelevato dal bacino di areazione è stacciato, ispessito e portato alla temperatura di processo mediante uno scambiatore fango/fango e relativo circuito di riscaldamento.

Performances - Il processo Biolysis E può consentire abbattimenti della produzione di fango variabili tra il 15% ed il 25% in funzione delle condizioni locali (parametri funzionali del biologico) e delle temperature.

### ***Cannibal - riduzione mediante stress metabolico e microaerazione in vasca separata***

Descrizione del sistema - Si tratta di una tecnologia basata sulla ritenzione di una parte di fango di ricircolo in una vasca mantenuta a basso potenziale redox (300-400 mV) mediante microaerazione.

Lo schema generale del processo noto sotto il nome Cannibal prevede:

- l'estrazione di una quota parte dei fanghi di ricircolo della sedimentazione secondaria (circa il 50%)
- l'invio ad un vaglio separatore di 250 nm per la separazione del materiale inerte
- il fango vagliato è convogliato ad una vasca di raccolta successivamente inviato al reattore detto di interscambio dove vengono mantenute condizioni microaerobiche mediante areazione intermittente con ossigeno disciolto intorno a zero e basso potenziale redox;
- il fango così trattato è inviato in testa al processo a fanghi attivi

Performances - Il processo Cannibal® consente una riduzione di fango biologico tra il 30 - 60%. Il sistema Cannibal® si ottimizza quando viene integrato con l'intero processo depurativo e in particolare con i parametri di controllo all'interno del sistema a fanghi attivi.

***Lisi enzimatica su reattori MBR: reattori biologici a membrana.***

Descrizione del sistema - I reattori biologici a membrana MBR derivano dall'accoppiamento dei tradizionali processi a biomassa sospesa con i processi di filtrazione su membrane permeabili.

Le membrane a fibra cava si comportano come una barriera (filtro) meccanica trattenendo solidi e microrganismi. Il mixed liquor entra nei reattori a membrana in modo uniforme alla base della cella e viene miscelato all'aria addizionata alla base di ogni modulo.

I maggiori vantaggi legati a questa tecnologia sono:

- eliminazione delle unità di sedimentazione secondaria a valle del comparto biologico (e problemi gestionali ad essa legati);
- notevole riduzione dell'ingombro planimetrico del reattore biologico grazie ad elevate concentrazioni di fango utilizzate;
- diminuzione della produzione dei fanghi di supero associata ai maggiori valori di età del fango;
- notevole incremento e stabilità della qualità dell'acqua trattata (eliminazione di azoto e fosforo);
- possibilità di gestire il processo biologico in maniera indipendente dalle fluttuazioni di carico idraulico in ingresso;
- possibilità di filtrazione a gravità;
- effetto dosaggio enzimatico su f.a. ad alta concentrazione ( $\geq 10$  kg mvlss/m<sup>3</sup>);
- oltre ai già sperimentati test sulla filtrabilità delle membrane coadiuvata dagli enzimi (prove di dosaggio effettuate in alcuni impianti in Trentino per conto PAT negli anni 2007-2008) si sono da tempo eseguite prove di reazione enzimatica su MIX LIQUOR in vasca fanghi attivi concentrati linea MBR.

Performances - Con concentrazioni superiori ai 10 kg/m<sup>3</sup> si sono ottenute buone performance di abbattimento o riduzione del quantitativo di fango dell'ordine di qualche punto percentuale (5÷6 %).

### ***Ozonolisi***

Descrizione del sistema - Il processo di ozonolisi fa parte dei processi di tipo chimico ed è basata sull'impiego dell'ozono su una frazione dei fanghi di ricircolo all'interno delle sezioni biologiche di un impianto a fanghi attivi ed ha lo scopo principale di ridurre la produzione dei fanghi di supero in uscita dall'impianto stesso.

Il processo consiste nell'attivare un contatto tra l'ozono e una frazione dei fanghi di ricircolo, fase che si svolge in un reattore esterno ai bacini biologici.

Le membrane cellulari vengono attraversate dal gas con un effetto di degradazione e disintegrazione (lisi) che porta alla solubilizzazione dei costituenti cellulari e al loro rilascio nell'ambiente acquoso esterno sia in forma mineralizzata che di composti organici biodegradabili.

Performances - Dalle analisi svolte si è rilevato che il tasso di riduzione è direttamente correlato agli specifici ozono utilizzati e che può di conseguenza essere variato ragionevolmente tra range che spaziano tra il 30 e il 50%.

### ***Biolysis - O***

Descrizione del sistema - Il processo necessita del contatto della miscela acqua - fanghi con l'ozono. Estratti dai bacini biologici, i fanghi sono messi a contatto con l'ozono generato a partire dall'ossigeno. L'ozono potente ossidante penetra la membrana dei batteri danneggiandone gli organuli intermembranali.

Performances - Riduzione produzione fanghi in kgSS/g: oltre il 35%. Dosi di ozono in kgO<sub>3</sub>/kgSS eliminato: da 0,13 a 0,23

### ***Disgregazione con ultrasuoni (sonicazione)***

Descrizione del sistema - La disintegrazione del fango è causata dagli ultrasuoni (con frequenze comprese tra 20 kK-40 kHz) per formazione di micro bolle di gas la cui dimensione aumenta fino a quando collassano violentemente (cavitazione), liberando calore e aumentando le pressioni all'interfaccia gas-liquido. Nel reattore sono installati oscillatori ultrasonici push-pull, ciascuno dotato di due testine oscillanti.

È possibile dimensionare l'ampiezza del risonatore in relazione alle caratteristiche del fango da trattare, in un campo estremamente ampio da 1 µm a 250 µm, permettendo di adeguare in modo ottimale l'apporto energetico specifico.

Performances - Aumento di ca. 8% della produzione specifica di gas. Diminuzione di ca. 8% della quantità di fango da smaltire. Miglioramento di ca. 7% della percentuale di secco.

### ***Disintegrazione meccanica con centrifughe***

Descrizione del sistema - È un sistema di disintegrazione meccanica e prevede l'utilizzo di un addensatore centrifugo per l'ispessimento dei fanghi, equipaggiato con un anello meccanico aggiuntivo di disintegrazione che rompe i fiocchi di fango disperdendoli in sospensione e le membrane cellulari causando la solubilizzazione del materiale cellulare. Il dispositivo di disintegrazione è montato nella parte finale della centrifuga all'uscita del fango ispessito.

Come per la sonicazione la disgregazione dei fiocchi e la parziale solubilizzazione del materiale cellulare rende più completa la degradazione anaerobica del materiale organico riducendo la produzione di secco in uscita e aumentando la produzione di metano.

Performances - Grado di disintegrazione 16 -18 %. Incremento del rendimento in biogas sopra il 25%. Contenuto di solidi volatili nel fango digerito < 50%. Riduzione fango 5÷7 %.

**Termolisi**  
(vengono presentati 3 sistemi)

*Lisi Termica accoppiata a Digestione Anaerobica: Biothelys*

Descrizione del sistema - Il processo prevede che l'idrolisi termica avvenga in 2 o 3 reattori identici, funzionanti in parallelo. I reattori lavorano in modalità batch e un ciclo completo dura da 120 a 165 minuti, a seconda della configurazione dell'impianto. I reattori di idrolisi funzionano in modo strettamente interdipendente l'uno dall'altro, secondo sequenze rigidamente prestabilite:

- riempimento di un reattore con fango grezzo;
- pre-riscaldamento del fango con vapore ricircolato da un altro reattore, che si trova alla fine del ciclo (flash steam);
- riscaldamento del fango fino al raggiungimento della temperatura operativa di idrolisi, mediante iniezione di vapore vivo (live steam) prodotto da una caldaia. la produzione di vapore non richiede alcun combustibile esterno, in quanto la caldaia sarà alimentata con una quota parte del biogas prodotto nel successivo stadio di digestione anaerobica;
- idrolisi termica: il fango è mantenuto alla temperatura operativa ed in pressione per 30 minuti, durante i quali avviene l'idrolisi;
- depressurizzazione del reattore mediante ricircolo del vapore di flash in un altro reattore, che si trova all'inizio del ciclo. il ricircolo del vapore comporta due benefici: il risparmio energetico, dovuto al preriscaldamento del fango fresco e il necessario raffreddamento del fango idrolizzato;
- svuotamento del reattore in un serbatoio di disconnessione, realizzato sfruttando la pressione residua interna;
- da quest'ultimo serbatoio di stoccaggio, il fango viene ulteriormente raffreddato ed avviato al trattamento di digestione anaerobica.

*Cambi*

Descrizione del sistema - Il concetto fondamentale del processo di idrolisi Cambi è quello di trattare il fango, dopo la pre-disidratazione, riscaldandolo e raffreddandolo attraverso il controllo della pressione e della temperatura. Il processo globale è costituito da cinque fasi principali:

- pre-disidratazione e stoccaggio del fango;
- riscaldamento del fango nel pulper;
- idrolisi termica nel reattore;
- raffreddamento del fango idrolizzato prima della digestione anaerobica;
- disidratazione finale del fango digerito.

Nella fase di pre-disidratazione, il fango è disidratato fino ad ottenere una

percentuale di sostanza secca variabile tra il 15% e il 20%. Il fango disidratato è quindi inviato al sito di stoccaggio per il successivo pompaggio al pulper.

Il fango idrolizzato è inviato ad un digestore convenzionale ove viene stabilizzato anaerobicamente e viene inviato alla disidratazione finale ove si possono ottenere valori di secco fino al 40%.

### *Digelis™ Turbo*

Descrizione del sistema - Digelis™ Turbo è una digestione amplificata che dopo la disidratazione produce una quantità di fango sterilizzato che è ridotto dalla metà, grazie ad un processo preliminare dell'idrolisi termica applicata al fango misto o biologico.

L'idrolisi termica permette la disintegrazione della struttura delle cellule dei batteri e la solubilizzazione degli espolimeri in un prodotto facilmente digeribile.

Prima dell'invio al digestore il fango subisce l'idrolisi termica che consiste nel sottoporre il fango, una volta ispessito ed omogeneizzato, all'alta pressione ed alla temperatura. Ciò avviene in un reattore a °C 165 per 20 - 30 minuti.

Il fango sterilizzato in questo modo quindi è trasmesso ad un reattore di riduzione della pressione, in cui la perdita di pressione conduce alla distruzione delle cellule.

Infine, prima dell'invio al digestore, il fango è raffreddato in uno scambiatore termico. I gas prodotti durante questi vari passaggi subiscono il deperimento biologico nel digestore, senza generare odori noiosi.

È durante questa fase finale di gestione anaerobica che le sostanze volatili sono convertite in biogas, prima di tutto il metano.

Questo biogas è usato per alimentare il boiler che produce il vapore necessario per il processo e/o per la cogenerazione.

Performances - Il processo di termolisi consente:

- la riduzione dei volumi di digestione rispetto a digestione convenzionale: 2 - 3 volte;
- l'incremento nella produzione di biogas rispetto a digestione convenzionale: fino al 50 %;
- la rimozione dei solidi volatili in digestione: attorno al 60%;
- l'aumento del grado di secco conseguibile in disidratazione: fino a 10 punti percentuali;
- la riduzione del volume di fanghi disidratati da inviare a smaltimento finale: fino al 50 %;
- la rimozione di patogeni in digestione: 100 %.

***Ossidazione in Fase Umida***  
(vengono presentati 4 sistemi)

***ZIMPRO***

*Descrizione del sistema* - Il processo consiste nell'ossidazione ad elevata temperatura (fino a 300 °C) e sotto pressione (7-12 MPa) della sostanza organica presente in soluzione o in forma particellata; l'abbattimento può raggiungere valori anche molto elevati (fino all'80 - 90 %) tale da fare assimilare l'ossidazione ad umido all'incenerimento. Il processo può avvenire anche a valori più bassi di temperatura e pressione (190°C e 2,8 MPa) ma con minori efficienze.

***ATHOS***

*Descrizione del sistema* - Il processo avviene a 250 °C e 54 bar con ossigeno puro. I fanghi sono alimentati al 4-7 % di secco. I fanghi ispessiti sono alimentati al reattore con una pompa ad alta pressione. L'ossigeno è iniettato mediante un eiettore posto sulla linea di riciclo dei fanghi estratti dal reattore.

Il processo può avvenire in condizioni più blande di temperatura a 250 invece che a 285 °C, ricorrendo ad un canalizzatore a base di solfato di rame.

L'ossidazione per via umida consiste nel mettere in contatto un effluente, mantenuto in fase liquida ad alta pressione ed alta temperatura, ed un gas ossidante, allo scopo di trasformare per ossidazione la maggior parte dei composti organici in un flusso gassoso pulito, un liquido ed un solido essenzialmente inerte.

Le condizioni operative praticate sono abbastanza ampie: per la temperatura da 250 a 300°C, per la pressione da 70 a 150 Bar, il tempo di contatto da 15 a 120 minuti. Il gas ossidante può essere l'aria o l'ossigeno.

***VITECH GRANIT TECNOSABBIA***

*Descrizione del sistema* - Questo sistema di ossidazione è basato su un processo continuo di degradazione della sostanza organica ed inorganica. La reazione si svolge in fase acquosa senza l'utilizzo di prodotti chimici e/o catalizzatori, ad alta temperatura e ad alta pressione in presenza di ossigeno puro o aria in assenza di combustibile. La reazione provoca calore ed i prodotti risultanti sono anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), acqua (circa 70-85%), componenti organiche interamente biodegradabili (liquidi) che possono tornare nel digestore anaerobico per produrre biogas.

Il grado di abbattimento delle sostanze organiche può variare tra il 70% e oltre il 99,5%. L'energia generata dalla reazione di ossidazione può essere recuperata

sotto forma di acqua calda o di vapore industriale.

### *DUAL TOP*

Descrizione del sistema - L'impianto TOP-Fanghi realizza la "Wet-Oxidation" dei fanghi risultanti dagli impianti biologici di depurazione delle acque, con ossigeno puro ad alta temperatura e alta pressione (T.O.P. è infatti l'acronimo di Temperature Oxygen and Pressure).

I fanghi sono alimentati all'impianto ad una concentrazione di sostanza secca compresa fra il 6 e il 10 % (mediamente 8%) in modo da avere una concentrazione di sostanza organica ossidabile abbastanza alta e mantenere una buona pompabilità.

Performances - Questo processo può essere applicato sia per il trattamento di acque di scarico industriali fortemente contaminate da carico organico con COD superiore a 10.000 mg/L, sia ai fanghi di depurazione. L'abbattimento di COD per le acque di scarico è del 60-70 %; per i fanghi si ottiene un abbattimento di SV del 92 -98 %. Con il primo scambiatore è possibile riscaldare la carica da trattare fino a 180-200 °C, con il secondo scambiatore ad olio diatermico si porta l'alimentazione alla temperatura di esercizio del reattore. La riduzione di fango in uscita dall'impianto può arrivare al 70%.

### *Tecnologia gestionale di processo: enzimi. Sistema Eurovix*

Descrizione del sistema - Al fine di valutare l'incidenza ed il meccanismo di azione di una miscela enzimatico-batterica selezionata introdotta in un impianto a fanghi attivi è necessario comprendere quali sono i fattori su cui agire.

Essenzialmente il risparmio gestionale si può ottenere nella sezione di ossidazione biologica dove si ottiene:

- riduzione del consumo di ossigeno;
- riduzione della produzione di fango.

La parte essenziale nelle sperimentazioni effettuate è stata l'aggiunta direttamente in vasche di ossidazione di miscele enzimatico-batteriche, intendendo con tale termine un pool di enzimi del genere di quelli emessi nell'ambiente circostante, dai ceppi batterici presenti nel comparto ossidativo.

L'effetto di tale aggiunta in vasca di ossidazione provoca essenzialmente due fenomeni:

- fenomeni di idrolisi e successiva liquefazione di parte dei solidi sospesi effluenti ed adsorbiti sul fango;
- incremento dei processi di demolizione ossidativa enzimatica con formazione di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O a scapito di reazioni di crescita protoplasmatica.

Il risultato complessivo di quanto sopra, è una sostanziale riduzione della formazione di fango di supero e di consumo energetico in quant, le reazioni ossidative enzimatiche sono reazioni biochimiche che non necessitano di apporto di ossigeno esterno.

Performances - I risultati ottenuti sono così riconducibili:

- incremento della resa di abbattimento del COD del 5,24%;
- incremento della resa di abbattimento del BOD del 3,88%;
- incremento della resa di abbattimento dei SS del 12,15%;
- incremento della resa di abbattimento del NH<sub>4</sub> del 25,67%.

In conclusione la sperimentazione durata circa 4,5 mesi ha mostrato di produrre degli effetti migliorativi in termini di riduzione fanghi dal 5% al 14% della massa secca a seconda del metodo di interpretazione dei risultati applicato.

***Cicli Alternati. Sistema Ingegneria Ambiente S.r.l.***  
(ci sono 2 possibilità di applicazione)

*Cicli Alternati in linea acque Ca®*

Descrizione del sistema. Il processo CA® garantisce sia la rimozione biologica del carbonio che dell'azoto ed in parte del fosforo tramite una successione di fasi aerobiche ed anossiche che vengono realizzate tramite una successione temporale in un unico bacino. In questo modo non è necessario avere delle sezioni dedicate, anossica di pre-denitrificazione ed aerobica di nitrificazione, in volumi predefiniti, né esiste la necessità di operare il ricircolo della miscela aerata per raggiungere prestazioni di tutta sicurezza.

Performances. Con il Processo CA® si registrano le seguenti prestazioni:

- prestazioni nella rimozione dell'azoto più elevate (80-90%) dei processi tradizionali quali la pre-denitrificazione nitrificazione in quanto tutto l'azoto nitrificato, che deve essere denitrificato, si trova già all'interno della vasca di ossidazione;

- risparmi energetici del 20-30% che sono una immediata conseguenza sia delle elevate prestazioni nella rimozione biologica dell'azoto, in quanto elevate denitrificazioni significano elevato recupero di ossigeno combinato, sia del fatto che con i CA® non è necessario il ricircolo della miscela aerata;
- una riduzione della produzione dei fanghi (15% in meno) dovuto allo stress a cui sono sottoposte le biomasse; questo, in misura blanda, determina una riduzione dei coefficienti di resa ovvero di sintesi di nuove biomasse a seguito della trasformazione delle sostanze organiche;
- una riduzione sino all'annullamento del dosaggio di chemicals per la precipitazione chimica del fosforo nel rispetto del limite P<sub>tot</sub> 2 mg/l, ciò è dovuto al fatto che si producono organismi cosiddetti dPAO, cioè biomasse fosforo accumulanti con comportamento di denitrificanti.

### *Cicli Alternati in linea fanghi CA®*

Descrizione del sistema. Il processo a cicli alternati, attuato in modo consolidato in linea acque, ha evidenziato, attuando fasi alternate nel reattore biologico, la possibilità di condizionare le biomasse e determinare un disaccoppiamento energetico creando già in linea acque una riduzione della produzione dei fanghi. L'individuazione di tale effetto in linea acque sulla riduzione della crescita delle biomasse ha dato il via alla possibilità di testare il processo in modalità innovativa e più spinta come trattamento biologico in linea fanghi rivolto ad un più incisivo decremento della produzione dei fanghi di supero. Il passaggio e l'attuazione del processo in linea fanghi si basa sulla valutazione che lo stress ossico anossico applicato alle biomasse determini condizioni di disaccoppiamento energetico. L'inibizione della sintesi di ATP che induce il disaccoppiamento metabolico nella biomassa e l'aumento della lisi cellulare con conseguente respirazione criptica dei substrati rilasciati sono determinati in una vasca dedicata al trattamento attuando fasi alternate su una quota dei fanghi provenienti dalla linea del ricircolo.

Performances - Il processo è attuato in un impianto civile, con potenzialità di progetto di 35.000 AE, ubicato in una località balneare. La riduzione della produzione dei fanghi di supero ha visto un immediato riscontro pratico nelle minori quantità globali di fango smaltite in discarica, nelle quali viene considerato anche l'apporto di una filiera di trattamento REF non interessata dal processo. Rispetto ad una produzione media calcolata nel periodo precedente di 5,4 tonn/d di fango tal quale pari a 0,97 tonnTS/d (Tab. 3.18), l'attuazione del processo a Cicli Alternati in linea fanghi ha determinato una riduzione percentuale dei fanghi conferiti in discarica, espressi in tonnellate di secco, del 12%, 36% e 42% rispettivamente nei periodi A, B e A'.

## 2.3. Inserimento delle tecnologie innovative nelle realtà esistenti e quadro di sintesi dei criteri di adattabilità

In generale le tecnologie innovative si presentano ciascuna con “range applicativi” ben individuati e sperimentati sia sul piano progettuale che tecnologico e costruttivo. Alcune di esse hanno subito nel tempo evoluzioni e/o modifiche in funzione dei risultati ottenuti, in particolare passando dalla scala sperimentale a quella delle realizzazioni impiantistiche su scala reale. Partendo da questi percorsi sono trattati e qui sinteticamente riportati alcuni criteri di adattabilità delle tecnologie TRF alle realtà impiantistiche più diffuse ed attualmente in esercizio.

### 2.3.1 Adattabilità alle dimensioni

Una prima classificazione orientativa delle tecnologie TRF può essere redatta in base alle dimensioni impiantistiche; infatti i costruttori e detentori dei brevetti associano spesso l’adattabilità del sistema proposto a ben definiti valori di “targa” dell’impianto in esame.

Le esperienze acquisite in campo suggeriscono come possibili le combinazioni operative delineate nelle tabelle seguenti (cfr. Tabb. 2.4-2.6). In particolare le TRFg non presentano limiti dimensionali di adattabilità

**Tabella 2.4 – Tecnologie preventive TRFa**

<b>Sistema</b>	<b>Dimensione impianto considerato potenzialità (AE)</b>	<b>Referenze - AE</b>
BIOLISI ENZIMATICA	50.000 ÷ 60.000	Verberie 3.000 Kurosaki 60.000
CANNIBAL	50.000 ÷ 100.000	Levico 35.000 -70.000 Siemens Turchia 100.000 – 150.000 42 impianti in USA
IMPIANTO MBR	≥ 100.000	Brescia 30.000 Altri 100 impianti nel mondo
OZONOLISI	50.000 ÷ 100.000	Caronno Pertusella 100.000 Prato 20.000
BIOLISI O DISINTEGRAZIONE ULTRASUONI	50.000 ÷ 100.000 ≥ 100.000	Villach 200.000 Cesena 120.000 Imola 50.000 Monguelfo 40.000 Pozna 750.000 Darmstadt Sud 30.000
DISINTEGRAZIONE MECCANICA	≥ 100.000	Praga ..... Aachen Soers .....

**Tabella 2.5 – Tecnologie terminali TRFf**

<b>Sistema</b>	<b>Dimensione</b> impianto considerato potenzialità (AE)	<b>Referenze - AE</b>
TERMOLISI	50.000 - 200.000	Saumur 60.000 Sivo 75.000 Tergnier 60.000 Monza San Rocco 650.000
DIGELIS TURBO	≥ 100.000	Bruxelles Nord 900.000 Dublino 1.200.000 Brisbane 600.000
OX AD UMIDO	≥ 300.000 ÷ 400.000	Athos Siba: Trucazzano 165.000 Ladurner Rovereto 200.000

**Tabella 2.6 – Tecnologie gestionali TRFg**

<b>Sistema</b>	<b>Dimensione</b> impianto considerato potenzialità (AE)	<b>Referenze - AE</b>
ENZIMI	≥ 50.000 (*)	Punta Vagno > 100.000 Altri 10 impianti
CICLI ALTERNATI	≥ 30.000 (*)	Mezzocorona 35.000 Viareggio 30.000 Altri 28 impianti
CONTROLLI INF./ TEL.	≥ 50.000 (*)	

(\*) Dimensioni ottimali

### 2.3.2 Adattabilità in relazione alla composizione delle linee di depurazione

Per alcune tecnologie TRF le *performances* ottenibili necessitano della presenza o meno, nell'impianto da modificare, di alcune fasi di trattamento fondamentali per il loro inserimento. Di tali esigenze si esemplificano in tabella 2.7 alcuni tra i più significativi fattori di compatibilità impiantistica.

**Tabella 2.7 Fattori di compatibilità impiantistica**

<b>Fasi presenti</b>	<b>Fattori di compatibilità</b>
Decantazione primaria	Non necessaria per processo Cannibal e Biolisi enzimatica
Fasi di nitrificazione - denitrificazione	Necessaria al processo Cannibal
Digestione anaerobica	Necessaria alla termolisi e al processo Digelis E
Linea produzione O <sub>3</sub>	Ozonolisi immediatamente applicabile
Necessità di integrazione ossidativi	Ozonolisi

### 2.3.3 Adattabilità al territorio circostante: impatto ambientale

Un risultato migliorativo verso l'occupazione di suolo e spazi può essere ottenuto in caso di nuove progettazioni più compatte e nel recupero di vasche da un vecchio impianto ove ne occorra ristrutturare i sistemi di ossidazione o le parti elettromeccaniche in generale.

Scegliendo ad esempio la tecnologia MBR, l'impostazione ex-novo delle linee biologiche porta di per sé a sistemi che, mirati alla minore produzione di fango, attraverso l'impiego di sistemi di processo intensivi (maggiori concentrazioni in vasca, quindi maggiore età del fango) e/o accessori agli stessi (sistemi gestionali di riduzione del fango), incidono notevolmente anche nel ridurre le dimensioni delle linee di digestione del fango stesso.

Il raggiungimento di questi obiettivi è particolarmente desiderato qualora vi siano spazi o contesti ambientali difficili le aree densamente abitate in cui la movimentazione ed il trasporto dei fanghi risultano ad esempio frequentemente critiche.

#### *2.3.4 Adattabilità alle condizioni dell'impianto esistente*

In situazioni di particolare difficoltà funzionali dei bacini ossidativi e quando lo stato di usura meccanica delle apparecchiature utilizzate in fase di aerazione ne consigli la sostituzione, si possono valutare alcune combinazioni integrative tra i nuovi processi ossidativi e le tecnologie TRF.

L'adattabilità di alcune di esse può essere comunque più o meno ampia anche in funzione di fattori già presenti nel processo esistente e spesso condizionati dagli spazi disponibili.

Tipico è l'esempio di un impianto a turbine su vasche in cui si opera la nitrificazione. In questo caso l'ozonolisi potrebbe incrementare l'apporto di O<sub>2</sub> e l'efficienza del processo in atto. Alternativamente il sistema MBR potrebbe viceversa ottimizzare l'impiego dei bacini esistenti di nitrificazione e denitrificazione. Entrambe le soluzioni portano comunque ad una riduzione del fango prodotto.

#### *2.3.5 Adattabilità a criticità funzionali legate anche alla natura del fango*

Nei casi dove siano già evidenti produzioni di fanghi filamentosi dovuti a situazioni persistenti di carico in ingresso non equilibrato, di squilibri dovuti a scarichi misti urbani ed industriali, di situazioni di sottocarico per sovradimensionamento dei bacini esistenti, di rendimenti ossidativi non ottimali, ecc. si possono ancora considerare forme diverse di inserimento di alcune TRF in termini integrativi al sistema biologico in esame.

Queste possibilità sono per lo più attribuibili alle tecnologie TRFa applicabili sulla linea acque ed in particolare all'ozonolisi ed ai cicli alternati.

## 2.4. Analisi di contesto e ricognizioni conoscitive sugli impianti oggetto di studio

Grazie alle informazioni direttamente rilevate in campo presso i diversi gestori degli impianti oggetto della ricerca, sono stati analizzati i costi di gestione complessiva dei fanghi prodotti, ottenuti tenendo conto di:

- *Costo di smaltimento* dei fanghi effettuato direttamente dal produttore.  
Le componenti di costo sono diverse e comprendono sinteticamente: operazioni di movimentazione e trasporto; eventuali oneri per l'esecuzione di trattamenti interni di condizionamento, igienizzazione e trasporto (prodotti chimici, consumi energetici, ammortamenti ecc.); costi amministrativi e controlli analitici.  
Costo totale medio risultante: 22-24 €/t di fango tal quale  
Eventuali oneri per certificazioni ambientali integrative redatte dagli enti preposti: 10-12 €/t
- *Costo collegato ad attività di smaltimento* in conto terzi (inclusi i costi gestionali e quote ammortamento d'impresa)  
Trasporto con destinazione finale suolo agricolo: dato medio compreso tra 45 e 60 €/t di fango tal quale.  
Possono sussistere costi aggiuntivi per compensi dovuti alla messa a disposizione dei terreni da parte dei proprietari.

Altre voci di costo legate a destinazioni finali diverse da quelle agricole sono infine rappresentate da:

- *Costi di smaltimento in discarica*  
Valore indicativo medio 120 - 130 €/t di fango al 25-30% ss
- *Costi di conferimento a cementifici*  
Valore indicativo medio 40 €/t ss

Vanno infine considerati aggiuntivamente anche:

- *Costi per attività di disidratazione* (reattivi chimici, energia, manodopera, oneri ammortamento tecnico) variabili tra il 30-40% del costo totale di smaltimento.

Passando quindi agli impianti oggetto di studio, è stato possibile analizzare i costi di gestione complessivi dei fanghi attraverso le informazioni acquisite durante le ricognizioni e visite, e in particolare valutando:

- situazione esistente;
- sezioni di trattamento;
- qualità delle acque allo scarico e criticità dei valori analitici;
- sviluppi progettuali previsti e/o programmati.

I dati essenziali desunti ai fini della ricerca vengono riportati nella tabella seguente.

**Tabella 2.8 – Costi di smaltimento dei fanghi per gli impianti oggetto di studio**

<i>Impianto (Bacino)</i>	<i>Produzione annua Fango disidratato [kg/anno]</i>	<i>Secco al 100% [kg/anno]</i>	<i>Produzione x AE di secco al 100% [kg/anno]</i>	<i>Costo smaltimento fango trasporto incluso [€/ton]</i>
Pero (Olona)	4.019.900 al 35 %	1.406.965	9,7	80
Canegrate (Olona)	2.961.480 al 35 %	1.036.518	12	80
Caronno Pertusella (Olona)	5.767.440 al 25 %	1.441.860	8,2	128
Olgiate Olona (Olona)	3.036.180 al 18,5 %	561.693	11,08	100
Varese (Olona)	2.919.110 al 19 %	554.630	11,6	100
Bulgarograsso (Olona)	3.195.300 al 20 %	639.060	10,8	87,8
Origgio (Olona)	1.264.300 al 20 %	244.010	8,7	100
Parabiago (Olona)	2.262.490 al 17 %	384.623	14,2 (*)	80
Bresso (Seveso)	7.018.920 al 25 %	1.754.730	9,2	80
Carimate (Seveso)	2.599.000 al 26 %	675.740	10,1	100
Fino Mornasco (Seveso)	4.218.250 al 20 %	846.252	13,9 (*)	87,8
Mariano Comense (Seveso)	1.760.750 al 29 %	510.629	9,4	71
Merone (Lambro)	6.000.000 al 25 % 1.500.000 al 92 %	1.500.000	15 (**)	70,5
Assago (Lambro)	1.882.920 al 26 %	489.559	4,2	80
S.S. Giovanni (Lambro)	2.064.600 al 26 %	536.796	5,8	130
Settala (Lambro)	1.443.720 al 25 %	360.930	8,5	130
Rozzano (Lambro)	1.446.540 al 26 %	381.300	3,3	80
Locate Triulzi (Lambro)	2.084.744 al 22 %	458.658	9,2	80

(\*) Tali valori risultano maggiori dei valori analoghi indicati in tabella per gli altri impianti. Tale apparente anomalia può dipendere dall'assenza della fase di digestione e dalla presenza della corrispondente aliquota di fanghi SV non stabilizzata.

(\*\*) L'indice unitario dei fanghi apparentemente elevato potrebbe dipendere da una effettiva necessità di nuovi interventi gestionali e di un upgrade generale

Per quanto riguarda l'indice unitario di produzione del fango, espresso come Kg sostanza secca/AE anno, si evidenziano sensibili differenze tra i valori riscontrati sugli impianti oggetto della ricerca e le stime riportate sia nelle pubblicazioni regionali che in vari riferimenti bibliografici e di letteratura a livello europeo.

I motivi di tali discordanze sono vari e complessi, a partire dal fatto che i dati regionali e di letteratura riportano spesso intervalli di valori min-max ed indicano inoltre valori medi desunti da situazioni ed impianti tra loro difficilmente comparabili in un quadro di sintesi generale non sempre facile né esaustivo.

Sulla base dei riscontri diretti e delle informazioni acquisite nel corso della ricerca a livello operativo, si possono inoltre considerare un insieme di fattori che più frequentemente concorrono a creare condizioni di esercizio alterate o mutevoli e quindi produzioni di fango altrettanto variabili ed anomale.

Si tratta di situazioni dovute principalmente a:

- carichi in ingresso mediamente bassi (infiltrazioni di acque di falda, imperfetta tenuta dei collettori, ecc.);
- impianti attualmente sottoalimentati rispetto ai dati di progetto iniziali;
- trascinarsi dei solidi sospesi per effetto dei by-pass e degli sfioratori nei periodi transitori di pioggia con frequenze non trascurabili;
- diffusa assenza di unità di filtrazione finale;
- fenomeni di *bulking*;
- obsolescenza di determinate componenti impiantistiche nelle sezioni di processo.

#### *2.4.1 Riflessioni sulle possibilità di inserimento operativo delle TRF ai casi di studio*

Per ognuno dei 18 impianti si è valutata l'opportunità di inserire alcune delle tecnologie precedentemente descritte tenendo conto del contesto e delle criticità riscontrate in campo.

Gli interventi di adeguamento sugli impianti in esercizio collegati alla scadenza del 2016 (cfr. Regolamento Regionale n. 3/2006), siano essi ancora in fase progettuale o già in fase realizzativa, possono opportunamente considerarsi come percorsi paralleli conciliabili con l'eventuale inserimento di TRF, soprattutto se l'adeguamento si trova allo stato progettuale.

Sugli impianti di maggiore potenzialità si evidenzia la migliore adattabilità delle TRFf, come la disgregazione meccanica e la termolisi mentre sugli impianti minori e con problemi di filamentosi si consiglierebbe l'utilizzo di sistemi TRFa come l'ozonolisi e la biolisi.

Su tutte le situazioni in generale sono sicuramente e più rapidamente inseribili le TRFg. Infatti viste le criticità conseguenti ai bassi carichi e la notevole disponibilità di volumi, riscontrate generalmente in tutti i casi presi in esame, le tecnologie dei Cicli Alternati e della Biolisi Enzimatica o il dosaggio di enzimi risulterebbero subito interessanti e capaci di generare forti recuperi sui costi gestionali.



## Capitolo 3

### *Valutazione di fattibilità*

#### 3.1. Valutazioni di fattibilità ed analisi costi - benefici delle applicazioni di tecnologie innovative agli impianti esistenti

Nella ricerca le valutazioni sono state condotte per ciascuna tecnologia presa in esame, secondo criteri meglio rispondenti alla tipologia della stessa ed alla completezza o meno dei dati tecnico-economici acquisiti. I criteri adottati hanno portato all'espressione dei risultati mediante l'ausilio di schede esplicative e di compendio (cfr capitolo 5 Rapporto finale di ricerca, Tabb. 5.53 – 5.73) per:

- l'ozonolisi;
- la disgregazione meccanica;
- i cicli alternati (linea acque e linea fanghi);
- la biolisi enzimatica;
- il processo Cannibal;
- la termolisi/Cambi.

Per ciascuna tecnologia sono state considerate tre condizioni di esercizio riferite ciascuna ad una produzione unitaria di 8, 12 e 16 kg SS/AE anno. In tal modo è stato possibile coprire soddisfacentemente il *range* produttivo dei fanghi offerto dai dati impiantistici e dalle stime rilevate in ambito regionale.

Tra l'altro la rappresentazione tabellare consente di evidenziare con semplicità i dati e le risultanze di fattibilità facilitando la lettura e le comparazioni dei valori riportati.

Al riguardo sono opportune alcune precisazioni sul criterio di compilazione seguito.

In tabella 2.8, riferita agli impianti caso di studio, sono riportati i costi di smaltimento finale acquisiti presso i gestori; a detti costi vanno aggiunti gli oneri di disidratazione gravanti sulle linee fanghi.

Considerate comunque le numerose variabili che incidono sulla formazione dei costi (unitari) di smaltimento e nell'intento di evitare un eccessivo impegno

interpretativo di dette variabili, nella elaborazione delle schede di fattibilità ci si è riferiti ad un valore medio di costo unitario (voce B7 delle tabelle suddette) pari a 130 €/ton in quanto esso appare, sulla base dei dati di mercato acquisiti, come l'indice meglio rispondente e più vicino alle realtà dello stesso che presenta, come noto, ricorrenti fluttuazioni.

Ciò consente quindi di individuare con buona approssimazione il livello di fattibilità di ciascuna TRF.

Qualora determinate situazioni di mercato indirzassero viceversa a valori dell'indice minori di 130 €/ton lo schema tabellare mantiene la sua validità consentendo di derivare egualmente le relative comparazioni sino ai valori terminali degli Indici di Fattibilità e di Pay-back, di cui si darà spiegazione nel seguito (cfr. par. 3.2).

Per quanto riguarda le restanti due tecnologie delle otto prese in esame - e precisamente l'ossidazione ad umido e i reattori MBR - la maggiore complessità delle stesse e le numerose variabili di processo presenti a livello tecnico, economico e gestionale, non hanno consentito di sviluppare un percorso altrettanto semplificato da tradurre in quadri di sintesi.

Per ciascuna di queste tecnologie la fattibilità viene quindi valutata secondo criteri e percorsi differenti.

Per quanto riguarda l'ossidazione a umido, esiste una dimensione operativa al di sotto della quale vengono meno le convenienze tecnico-economiche di buon esercizio.

Nel presente studio è stato preso in considerazione soltanto l'impianto di Rovereto (TN) di cui nel rapporto di ricerca è disponibile uno schema di fattibilità riferibile pertanto ad unità di dimensioni medio grandi.

Come già richiamato in precedenza la particolare tecnologia del MBR non si presta invece ad una facile quantificazione schematica dei costi relativi alla sola riduzione dei fanghi. L'impiego del MBR va visto infatti soprattutto come intervento di *revamping* e/o *upgrading*. Pur tenuto conto che la particolarità dei processi con reattori a membrane genera indirettamente una ridotta produzione dei fanghi (5÷10 %) resta prioritario il significato di *upgrading* da associare a questa tecnologia.

### 3.2. Significato economico del costo evitato

Poiché ad una minore produzione di fanghi considerata su base annuale, corrisponde un minor costo complessivo di smaltimento degli stessi, il termine di costo di fango non prodotto equivale a quello di costo evitato ( $C_{ev}$ ) e quindi a un risparmio realizzato (RL) nell'arco dell'anno.

Sussiste pertanto l'equivalenza economica data da:

$$\text{Risparmio lordo (RL)} = \text{Costo evitato (Cev)}$$

Tuttavia poiché le tecnologie applicate al ciclo di depurazione hanno evidentemente un loro costo gestionale  $C_T$ , il risparmio netto RN realizzabile risulta in effetti:

$$RN = RL - C_T = C_{ev} - C_T$$

da cui:

$$\frac{R_N}{C_{ev}} = 1 - \frac{C_T}{C_{ev}} = IF \quad (\text{indice di fattibilità})$$

Nel caso ipotetico di una tecnologia a costo zero il limite ottimale del rapporto RN/C<sub>ev</sub> risulterebbe IF = 1

In realtà IF varia tra 0 e 1. Quanto minore risulta C<sub>T</sub> (sono al riguardo determinanti la tipologia della tecnologia adottata ed il tempo tecnico di ammortamento della stessa) e maggiore C<sub>ev</sub> (analogamente risultano importanti le modalità dello smaltimento finale) IF tende ovviamente a valori che di più si approssimano a 1. Nel caso opposto la tendenza sarà per valori che si avvicinano allo zero.

È quindi immediato il significato economico di IF e della conseguente possibilità di individuare rapidamente la convenienza o meno delle singole tecnologie quanto più detto indice è alto.

All'indice IF è utile infine associare un secondo parametro quale il tempo di ritorno dell'investimento (pay-back), per meglio precisare la fattibilità tecnologica di una determinata scelta. Nella determinazione del pay-back non sono stati considerati gli eventuali oneri finanziari associati alle diverse modalità degli investimenti e che comunque non ne alterano sostanzialmente il valore.

Detti parametri sono esplicitati in calce alle tabelle dedicate alle singole tecnologie già sopra richiamate disponibili nel rapporto finale di ricerca e che di seguito sono sintetizzate in un'unica tabella (cfr. Tab. 3.1).

**Tabella 3.1 - Confronto valutazione di fattibilità**

Quadro di sintesi degli intervalli di applicazione																
Tecnologia TRF		50 - 100 AE x 10 <sup>3</sup>			100 - 150 AE x 10 <sup>3</sup>			150 - 250 AE x 10 <sup>3</sup>			250 - 350 AE x 10 <sup>3</sup>			350 - 450 AE x 10 <sup>3</sup>		
		(*)	(**)	(***)	(*)	(**)	(***)	(*)	(**)	(***)	(*)	(**)	(***)	(*)	(**)	(***)
Ozonolisi	IF	0,11	0,40	0,55	0,29	0,53	0,65	0,45	0,63	0,72						
	PB	25,17	4,41	2,41	7,66	2,83	1,74	3,82	1,80	1,18						
Disgregazione Meccanica	IF													0,33	0,62	0,76
	PB													6,62	2,47	1,58
Cicli Alternati Acque	IF	1,08	1,05	1,04	1,06	1,04	1,03									
	PB	10,18	6,95	5,28	10,36	7,04	5,33									
Cicli Alternati Fanghi	IF	0,34	0,56	0,67	0,35	0,57	0,68									
	PB	13,69	5,58	3,50	13,05	5,38	3,39									
Biolisi Enzimatica	IF	0,32	0,36	0,31	0,33	0,33	0,33	0,42	0,41	0,40						
	PB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Processo Cannibal	IF	0,39	0,59	0,69	0,54	0,69	0,77	0,64	0,76	0,82						
	PB	20,78	9,05	5,78	11,38	5,88	3,97	7,52	4,22	2,93						
Termolisi	IF	0,02	0,35	0,51	0,42	0,61	0,71	0,65	0,70	0,78	0,70	0,81	0,86	0,78	0,86	0,89
	PB	772,20	31,32	15,98	23,19	10,61	6,88	9,44	6,66	4,51	6,66	3,88	2,74	4,50	2,74	1,98
Ossidazione ad umido	IF											0,59				
	PB											5,23				

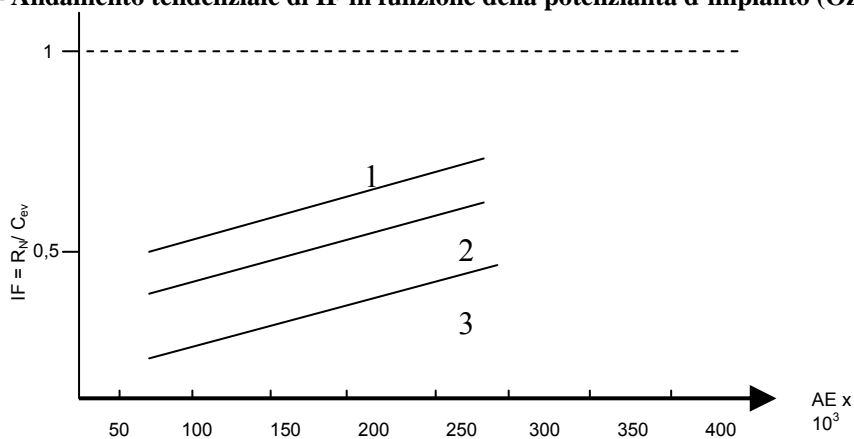
(\*) Produzione di 8 kgSS/AE x anno

(\*\*) Produzione di 12 kgSS/AE x anno

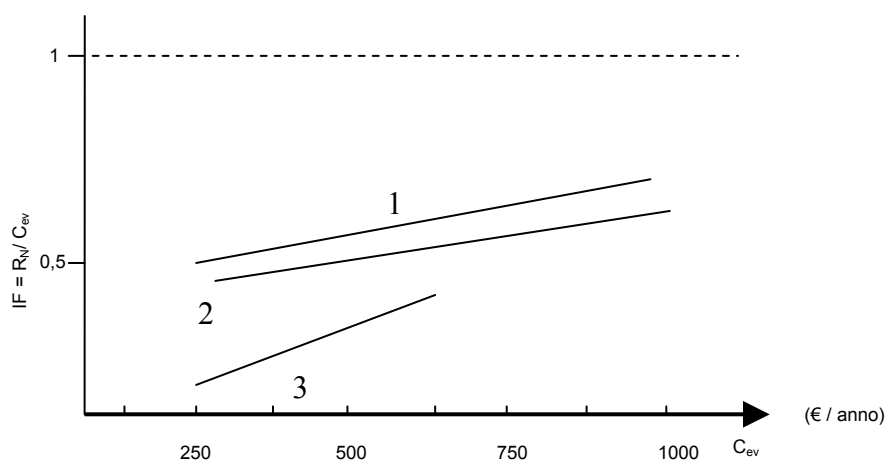
(\*\*\*) Produzione di 16 kgSS/AE x anno

Le considerazioni esposte sono state rappresentate anche sotto forma di diagrammi che illustrano su base annua in termini esemplificativi l'andamento tendenziale dell'indice IF in relazione alle variabili di riferimento considerate.

**Fig. 3.1 – Andamento tendenziale di IF in funzione della potenzialità d'impianto (Ozonolisi)**

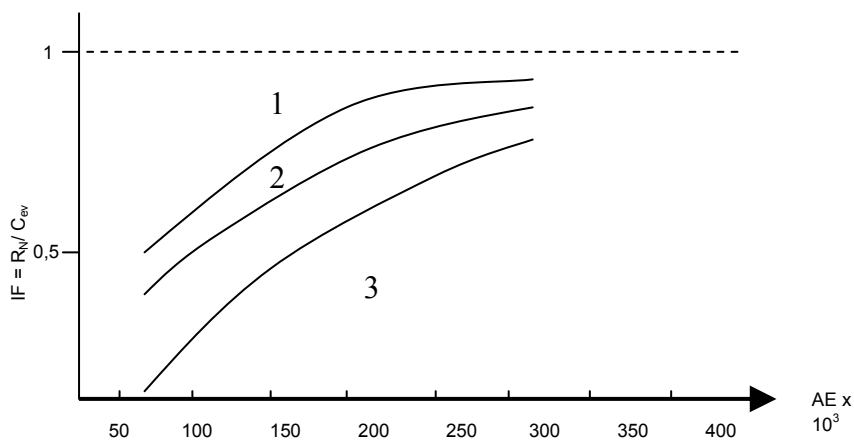


**Fig. 3.2 – Andamento tendenziale di IF in funzione del costo evitato  $C_{ev}$  (Ozonolisi)**

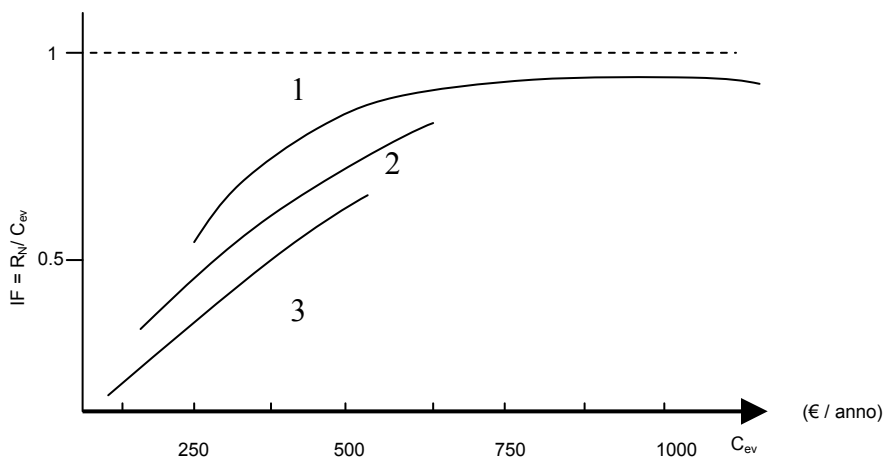


- Curva 1 – Produzione fango 16 kgSS/AE x anno
- Curva 2 - Produzione fango 12 kgSS/AE x anno
- Curva 3 - Produzione fango 8 kgSS/AE x anno

**Fig. 3.3 – Andamento tendenziale di IF in funzione della potenzialità d’impianto (Cambi)**



**Fig. 3.4 – Andamento tendenziale di IF in funzione del costo evitato  $C_{ev}$  (Cambi)**

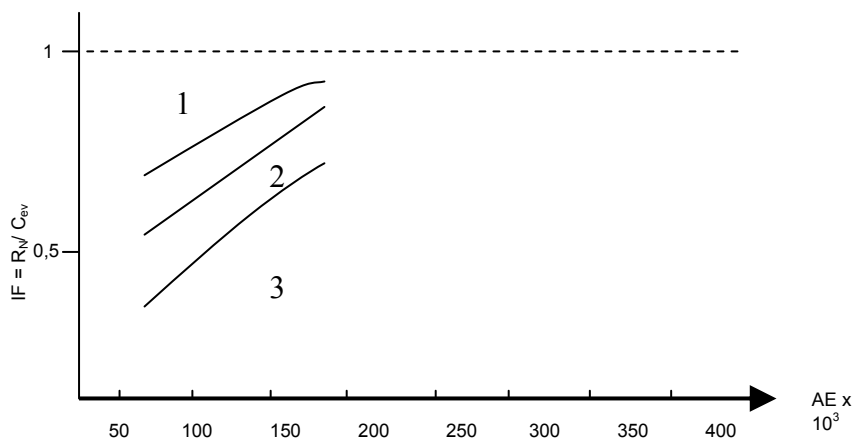


Curva 1 – Produzione fango 16 kgSS/AE x anno

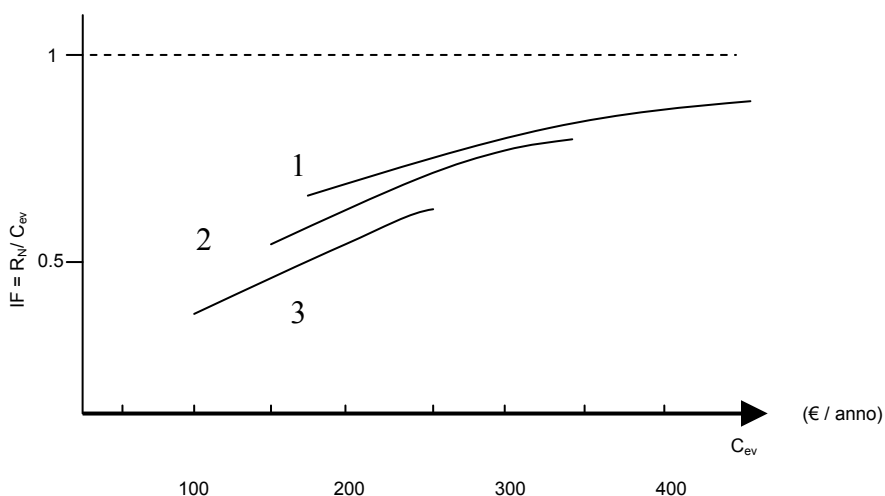
Curva 2 - Produzione fango 12 kgSS/AE x anno

Curva 3 - Produzione fango 8 kgSS/AE x anno

**Fig. 3.5 – Andamento tendenziale di IF in funzione della potenzialità d’impianto (Cannibal)**



**Fig. 3.6 – Andamento tendenziale di IF in funzione del costo evitato  $C_{ev}$  (Cannibal)**



- Curva 1 – Produzione fango 16 kgSS/AE x anno
- Curva 2 - Produzione fango 12 kgSS/AE x anno
- Curva 3 - Produzione fango 8 kgSS/AE x anno

Ciascuno dei grafici è stato riprodotto in base ai dati riportati nelle schede di fattibilità di ciascuna tecnologia in funzione sia della capacità operativa dell'impianto sia della produzione unitaria di fanghi individuata (Kgss/AE x anno). Per ogni tecnologia si rendono disponibili pertanto tre serie di curve di fattibilità di rapida lettura correlabili alle variabili economiche di riferimento.

Nella definizione del costo  $C_{ev}$  dei fanghi non prodotti (risparmio lordo) si sono considerate le due componenti di tale onere e precisamente i costi operativi della disidratazione presenti sulla linea fanghi ed i costi dello smaltimento finale. Infatti gli oneri legati ai metodi operativi e gestionali in atto presso gli impianti rappresentano una frazione non trascurabile del costo complessivo del fango prodotto ed includono voci significative tra cui l'energia, la mano d'opera, i reattivi chimici, l'ammortamento delle macchine e degli apparati elettromeccanici.

Va sottolineato che nella definizione dell'indice di fattibilità IF le variabili considerate sono riferite unicamente a voci di costo derivate dallo smaltimento dei fanghi.

Tale precisazione è opportuna qualora ci si trovi in presenza di alcune tecnologie, cicli alternati o disgregazione meccanica in particolare, il cui impiego introduce sensibili recuperi di energia elettrica e minori consumi di reattivi chimici (fosforo). In tali casi la formulazione di IF deve tenere conto, a rigore, anche della loro contabilizzazione economica che potrebbe portare tale indice a superare il valore di 1.

Ciò risulta evidente dalla riscrittura della formula precedente introducendovi il termine  $C_{rp}$  che considera opportunamente i risparmi aggiunti di energia elettrica e di processo.

In tal caso si ha pertanto:

$$R_N = R_L - C_T + C_{rp} = C_{ev} - C_T + C_{rp}$$

$$IF = \frac{R_N}{C_{ev}} = 1 + \frac{C_{rp}}{C_{ev}} - \frac{C_T}{C_{ev}}$$

Nelle applicazioni tecnologiche in cui  $C_{rp} > C_T$ , l'indice IF può risultare in effetti maggiore di 1.

Per le conclusioni di fattibilità si rimanda pertanto alla lettura delle sopra citate tabelle della ricerca, ciascuna specifica per le tecnologie prese in esame.

## Capitolo 4

### *Considerazioni conclusive*

A chiusura dei temi trattati e discussi più ampiamente nel rapporto integrale di ricerca si possono trarre le seguenti considerazioni conclusive.

Esiste certamente una gamma di tecnologie innovative TRF la cui applicazione, sia su impianti esistenti che vista in termini di nuova progettazione, può portare a sensibili riduzioni nella produzione dei fanghi e dei conseguenti oneri di smaltimento.

Tali tecnologie sono inseribili per ciascun impianto sia sulla linea acque che sulla linea fanghi e si riferiscono ad applicazioni realizzate su scala reale e quindi supportate da referenze documentate.

Le tabelle conclusive del Rapporto Finale riportano le valutazioni di fattibilità attribuibili a ciascuna tecnologia - in una logica di interpretazione e di sintesi generale - attenendosi a due categorie di riferimento quali:

- la dimensione degli impianti espressa, in termini di abitanti serviti;
- la produzione unitaria annua di fanghi, espressa in kg SS per abitante.

Tale riferimento è stato esplicitato per ogni tecnologia in un coefficiente specifico di riduzione fanghi inserito nelle tabelle che costituiscono nel loro insieme una maglia di ricerca delle soluzioni fattibili e consentono parimenti una rapida individuazione degli interventi più idonei.

Infatti i risultati della fattibilità sono stati riassunti in due indici di sintesi espressi da:

- IF, Indice di Fattibilità, il cui valore conferma o meno il livello di convenienza della tecnologia in esame;
- PB, pay-back quale tempo di ritorno dell'investimento la cui associazione con l'indice precedente IF conferma complessivamente la valutazione di fattibilità.

Questo lavoro ha inoltre confermato tra l'altro quanto già a suo tempo individuato in una ricerca IReR precedente sul tema (cod. ricerca 2006B039) in relazione ai

valori minimi di soglia dimensionale degli impianti al di sotto della quale non sussistono riscontri economici accettabili per l'applicazione delle TRF.

Un analogo limite alla convenienza di tali applicazioni risulta anche dalla presenza di bassi coefficienti di produzione fanghi, inferiori a 8÷10 kgSS/AE x anno. Tali limiti sono evidenziabili dalla lettura delle tabelle di valutazione e risultano comunque variabili da tecnologia a tecnologia. Ciò comporta che una risposta generale a tale aspetto non è esprimibile in termini preliminari, ma richiede viceversa un'analisi approfondita del caso preso in esame.

Nel corso degli incontri avuti con gli Enti gestori è risultato come la programmazione e l'avvio di interventi migliorativi e di up-grading sugli impianti sia sostanzialmente accomunabile con eventuali applicazioni delle TRF.

In particolare, per quanto riguarda la realizzazione di TRF sulla linea fanghi, in presenza di impianti di dimensioni importanti e di notevole produzione di fanghi, si è constatato che oggi la tendenza europea più consolidata associa tale esigenza a tecnologie di tipo termo-meccanico quali la termolisi e la wet-oxidation, al fine di ottimizzare i risultati economici di tali unità ed in particolare di valorizzarne l'effetto scala. Per questo sembra opportuno suggerire la creazione di un polo impiantistico unitario finalizzato ad una politica di smaltimento territoriale dei fanghi opportunamente ubicato con criteri baricentrici.

Infine, quale ultima considerazione, è opportuno sottolineare come la quasi totalità degli impianti visitati operi attualmente con un carico inquinante in ingresso, verificato soprattutto in termini di abitanti equivalenti serviti, sicuramente inferiore ai dati previsti in fase pianificatoria e di progetto. Evidentemente, quale conseguenza diretta di tale situazione, risulta una corrispondente minore produzione di fanghi in termini strettamente correlati ai minori carichi trattati.