



SCUOLA DI DOTTORATO
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI *MEDITERRANEA* DI REGGIO CALABRIA

DIPARTIMENTO DICEAM

DOTTORATO DI RICERCA IN
INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E DELLA SICUREZZA

S.S.D. ING-IND/31
XXXI CICLO

NUOVA VITA AI FANGHI: “STUDIO E PROGETTAZIONE DI TECNICHE INNOVATIVE PER IL RECUPERO ENERGETICO ED AMBIENTALE DI UN IMPIANTO DI DEPURAZIONE”

DOTTORANDO:
Ing. Filippo Laganà

TUTOR:
Prof. Salvatore Calcagno

Ing. Domenico De Carlo

Ing. Diego Pellicanò

COORDINATORE:
Prof. Felice Arena

FILIPPO LAGANÀ

**NUOVA VITA AI FANGHI: “STUDIO E PROGETTAZIONE DI
TECNICHE INNOVATIVE PER IL RECUPERO ENERGETICO ED
AMBIENTALE DI UN IMPIANTO DI DEPURAZIONE”**

Il Collegio dei docenti del Dottorato di Ricerca in
Ingegneria Civile, Ambientale e della Sicurezza
*Curriculum: "scienze e tecnologie, materiali, energia e sistemi
complessi per il calcolo distribuito e le reti"*

La fine di un percorso altro non è che l'inizio di un nuovo cammino, e per tale motivo, pensando a ciò che ci tiene in serbo il futuro, diventa essenziale voltarsi a guardare i passi compiuti nel passato. Pertanto è doveroso ringraziare le persone che in esso ci hanno accompagnato, affiancato, sostenuto, consigliato, motivato e incoraggiato e, allo stesso tempo, è inevitabile fare un "bilancio".

E siccome è arduo affrontare competizioni difficili ed al contempo avvincenti in solitudine, è essenziale costruire una squadra che con tenacia porti alla vittoria finale.

Una squadra solida che si basa su un principio indissolubile la fiducia reciproca. E per tale motivo che non posso esimermi di menzionare il professor Salvatore Calcagno con il quale ormai, ahimè, da più di un decennio mi concede l'opportunità preziosa di nutrire giorno dopo giorno questo mio instancabile desiderio di ricerca.

Non di meno voglio ringraziare gli amici/colleghi, che come tutor aziendali hanno supportato e sopportato il progetto di ricerca proposto. Amici da una vita, amici veri Domenico De Carlo e Diego Pellicanò.

Ad entrambi grazie perché negli anni, mai mi sono sentito abbandonato ma vi ho sempre trovato al mio fianco, pronti a consigliarmi e insegnarmi e che mai avete deluso le mie aspettative. Allo stesso tempo, spero di non aver deluso io le vostre...

Grazie soprattutto alla mia famiglia (Domenica, Antonella e Giovanni) che mi ha supportato anche in questa "avventura" e che, come sempre, rappresenta per me il porto sicuro nel quale approdare quando il mare è in burrasca.

Grazie, ovviamente, anche alla Cooperativa TEC, senza la quale buona parte di questo lavoro non sarebbe stato possibile.

In copertina:
Pacchetto clima-energia 2030

Indice

1 Introduzione

5 I Fanghi di Depurazione Strategie di Intervento Innovative

7 Introduzione

9 Analisi, Mappatura e Misurazione dei Processi

10 Indici di funzionalità degli impianti

12 Metodologia di valutazione

17 Le verifiche di funzionalità applicate alla linea fanghi

29 Possibili interventi per la minimizzazione della produzione dei fanghi

48 Il recupero di materia ed energia dai fanghi

54 Conclusioni

55 II. Riduzione quantitativa dei fanghi e miglioramento qualitativo

57 Introduzione

58 Pretrattamento dei fanghi mediante sonificazione

59 Indice di poli-dispersibilità

60 Potenziale ζ

62 Variazione del COD (Chemical oxygen demand)

62 Essiccazione del fango

63 Conclusioni

66 III. Metodologia di Ricerca

68 Definizione ed implementazione di innovazione nel processo

68 Prove Non Distruttive – Termografia

80 Tecniche Soft Computing

87 Progettazione Sistema Integrato

88 Conclusioni

90 IV. Analisi Termografica

92 Analisi termografica puntuale sulla linea acque

94 Conclusioni

96 V. Analisi Previsionale

98 Introduzione

100 Data Set per lo studio dell'applicazione

105 Conclusioni

107	VI. Progettazione Sistema di Monitoraggio
109	Introduzione
110	Sistema Integrato – Hardware
113	Sistema Integrato – Software
114	Conclusioni
116	Conclusioni
121	Riferimenti bibliografici
128	Appendice: Uso delle Norme e Procedure Brevettuali
129	Uso ed applicazione delle Norme
132	Brevetti
133	Invenzione Industriale
134	Cos'è il modello di Utilità
135	Brevettare in Italia
146	Brevettare all'estero
151	Conclusioni

Elenco delle figure

- 2** fig. 1 Rappresentazione grafica dello schema concettuale utilizzato per affrontare la “problematica fanghi”.
- 12** fig. 2 Schema concettuale del metodo per la definizione di indicatori sintetici della funzionalità degli impianti di depurazione.
- 17** fig. 3 Indice di trattamento del fango per diverse potenzialità di impianto (su elaborazione dei dati riportati in ISPRA, 2009 e Collivignarelli et altri, 2011). La linea rossa orizzontale rappresenta la “sufficienza”.
- 27** fig. 4 Schema di bilancio di massa effettuato su una centrifuga.
- 58** fig. 5 Fenomeno della cavitazione acustica.
- 59** fig. 6 Apparato sperimentale per il processo di pretrattamento dei fanghi mediante sonicazione.
- 60** fig. 7 Distribuzione delle dimensioni particellari nel tempo a diverse amplificazioni.
- 64** fig. 8 Schema di processo Cambi THP – Impianto di Depurazione Standard
Termocamera Flir P620.
- 69** fig. 9 Principali difetti presenti sui materiali
Impianto di Depurazione Cropani.
- 70** fig. 10 Estratti di Immagini Termografiche sull’Impianto di Depurazione di Cropani.
- 72** fig. 11 Rappresentazione di riflessione, trasmissione e riflessione dell’energia da parte di un corpo.
Dissabbiatura – Disoleatura.
- 76** fig. 12 Termocamera Flir P620.
- 77** fig. 13 Impianto di Depurazione Cropani.
- 78** fig. 14 Canale di adduzione
Sedimentazione.
- 78** fig. 15 Dissabbiatura - Disoleatura.
- 79** fig. 16 Grigliatura – Dissabbiatura – Disoleatura.
- 79** fig. 17 Vasche di ossidazione.
- 79** fig. 18 Sedimentazione
- 79** fig. 19 Canale finale.

- 79** fig. 20 Quadro Elettrico Generale.
- 80** fig. 21-22 Quadro Elettrico Generale.
- 80** fig. 23 Compressori.
- 83** fig. 24 Rappresentazione schematica di un generico neurone con input scalare. " $x_1: x_n$ " rappresentano gli ingressi, " y_k " l'output. Inoltre " $W_{k1}: W_{km}$ " è il peso, " b_k " è la cosiddetta bias, entrambi verranno determinati tramite addestramento della rete sulla base del target desiderato.
- 84** fig. 25 Rappresentazione schematica di un generico neurone con input vettoriale. Schema ottenuto dopo addestramento in ambiente Matlab. La figura è completa di funzione di attivazione, ingresso con peso, bias ed output.
- 84** fig. 26 Funzionamento algoritmo back propagation.
- 85** fig. 27-28 Esempio algoritmo back propagation.
- 92** fig. 29-a Canale di Adduzione.
- 92** fig. 29-b Analisi Termografica Canale di Adduzione.
- 93** fig. 30 Grafico $\Delta Temp.$
- 93** fig. 31 Istogramma.
- 93** fig. 32 Compressori.
- 94** fig. 33 Stacciatura.
- 99** fig. 34 Andamento dell'errore al variare del peso. a) con minimo globale a sinistra b) con minimo globale e locale.
- 102** fig. 35 Simulink Rete backpropagation.
- 103** fig. 36 Risultato della previsione utilizzando la rete di back propagation, la linea continua indica il valore di carico vero e la linea tratteggiata indica il valore previsto.

- 105** fig. 37 Risultato della previsione utilizzando la rete della funzione di base radiale, la linea continua indica il valore di carico vero e la linea tratteggiata indica il valore previsto.
- 110** fig. 38 Schematic.
- 111** fig. 39 Schema elettrico.
- 111** fig. 40-41 Scheda elettronica
- 111** fig. 42-43 Scheda elettronica installata sulla cabina elettrica
- 112** fig. 44 Sensore di corrente
- 113** fig. 45 Assorbimento di corrente dei compressori dell'impianto
- 114** fig. 46-47 Home della Piattaforma di Monitoraggio.
Piattaforma di Monitoraggio.

Elenco delle tabelle

12	tab. 1	Indicatori utilizzabili per la determinazione dei diversi indici tecnico-economici.
15	tab. 2	Valori attesi della produzione pro-capite di fanghi (ISPRA, 2009).
59	tab. 3	Diversa stabilità dei colloidali in funzione del variare del potenziale ζ .
59	tab. 4	Parametri di sonicazione.
59	tab. 5	Condizione operative di sonicazione.
61	tab. 6	Potenziale ζ e Conducibilità per i fanghi trattati con ultrasuoni.
61	tab. 7	Potenziale ζ per i fanghi contenenti un agente disperdente e trattati con ultrasuoni.
62	tab. 8	Valori di COD per i fanghi non trattati e trattati con ultrasuoni.
62	tab. 9	Test di essiccazione del fango. * i campioni sono stati essiccati in stufa a 100°C per 2h
101	tab. 10	Data Set impostato per il carico a breve termine.
102	tab. 11	Risultato della previsione utilizzando la rete lineare.
103	tab. 12	Risultato della previsione utilizzando la rete della funzione di base radiale.
104	tab. 13	Risultato della previsione utilizzando la rete della funzione di base radiale.

Introduzione

Da indagini economico/ambientali è emerso in questi anni quanta poca attenzione sia stata, storicamente, dedicata, fino ad oggi, alla gestione dei fanghi prodotti dagli impianti di depurazione delle acque reflue urbane.

Il lavoro di ricerca condotto in questa tesi di dottorato parte proprio dal concetto di cambiare la consuetudine storica, ponendo l'attenzione ed impegnando l'attività di ricerca sulla "problematica dei fanghi di depurazione".

Il principio del problema è il quadro normativo attualmente in vigore. Da un lato, infatti, viene imposto ai gestori degli impianti di depurazione il conseguimento di elevati rendimenti di rimozione degli inquinanti, dall'altro vengono modificati i possibili canovacci di conferimento finale dei fanghi.

Il raggiungimento di elevati standard di qualità delle acque imposti dalla normativa vigente implica, sia il peggioramento delle caratteristiche qualitative dei fanghi (in quanto contengono un maggior quantitativo di inquinanti) sia una maggiore produzione.

In merito alle possibili soluzioni utilizzate per il conferimento finale dei fanghi, in Italia, storicamente, sono sempre state adottate lo smaltimento in discarica e lo spandimento in agricoltura.

Lo smaltimento in discarica dei fanghi è sempre più complicato in quanto, ormai, quest'ultima viene vista come la soluzione finale di un più complesso ciclo di trattamento dei rifiuti (non per niente, anche se con alcune deroghe, la Direttiva 1999/31/CE, recepita in Italia col D.lgs. 36/2003 e s.m.i., sostanzialmente vieta il conferimento dei fanghi di depurazione in discarica).

Non da meno questa soluzione comporta per i gestori elevati costi di smaltimento.

Lo spandimento in agricoltura dei fanghi, invece, è da diversi anni al centro di un forte dibattito che ha portato, soprattutto nelle regioni del Nord, ad una fervida legiferazione regionale volta a regolamentare tale possibilità, a differenza dell'apatia registrata nelle regioni del Sud.

La soluzione del problema è tutt'altro che semplice e richiede per la sua risoluzione un criterio generale, che si basa sulla massimizzazione delle strutture esistenti mediante il calcolo di indici (indici di funzionalità) e la verifica della funzionalità dei vari comparti presenti in impianto. Esclusivamente dopo l'attuazione di queste prove e sulla base dei loro risultati, può essere presa in considerazione la possibile adozione di tecniche utili a ridurre la quantità di fango (o all'origine o prima del conferimento finale). Allo scopo di individuare la migliore tecnica di minimizzazione e/o di gestione, è necessario procedere ad una valutazione che consenta di verificare la sostenibilità tecnico-economica della/e soluzione/i ipotizzata/e.

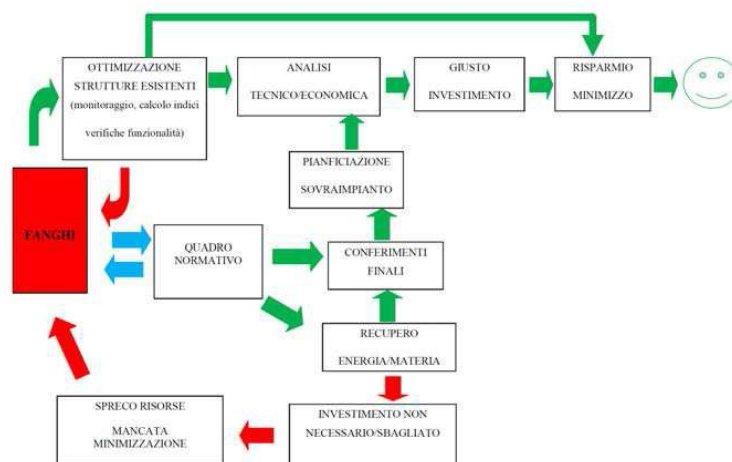


fig. 1 Rappresentazione grafica dello schema concettuale utilizzato per affrontare la “problematica fanghi”.

Infine, deve essere valutata la possibilità di recuperare materia e/o energia dai fanghi, così come indicato dal testo Unico Ambientale (D.lgs. 152/2006). Si evidenzia che un approccio di tipo generale come quello appena descritto, non può prescindere da una accurata pianificazione e programmazione sul territorio.

Nella figura seguente (fig. 1) è rappresentato lo schema concettuale utilizzato per affrontare il problema.

Gli aspetti più innovativi riportati all’interno della ricerca riguardano le verifiche di funzionalità della sonicazione del fango e del monitoraggio energetico dell’impianto.

Tra le numerose tecniche di minimizzazione proposte in letteratura, nel presente lavoro, è stato esaminato il processo ultrasonoro, del quale, inoltre, è stato anche studiato il possibile recupero di materia ed energia derivante dai suoi residui, rispettivamente, solido e liquido. Dopo l’analisi dello stato dei luoghi e la sua mappatura, attraverso tecniche non distruttive, si è proceduto allo studio, l’analisi e la progettazione di sistemi integrati di monitoraggio energetico, capaci di controllare i consumi prodotti durante il processo, attraverso soluzioni e tecniche capaci di produrre un risparmio energetico nel processo di depurazione.

La tesi è strutturata in modo tale da ricalcare l’impostazione teorica sopra esposta e può essere suddivisa in 3 parti:

- Parte I: bibliografica (*Capitolo 1*);
- Parte II: materiali e metodi (*Capitoli 2,3,4*);
- Parte III: risultati delle prove sperimentali e loro discussione (*Capitoli 5,6*).

Il *Capitolo 1* racchiude in sé tutta la parte bibliografica ed al suo interno sono riportati:

- I metodi utilizzabili per il calcolo degli indici di funzionalità degli impianti (col solo riferimento alla linea fanghi);
- Le verifiche di funzionalità applicabili alla linea fanghi;

- Una panoramica sulle possibili tecniche di minimizzazione applicabili agli impianti;
- Le possibili strategie utilizzabili per il recupero di materia ed energia dai fanghi.

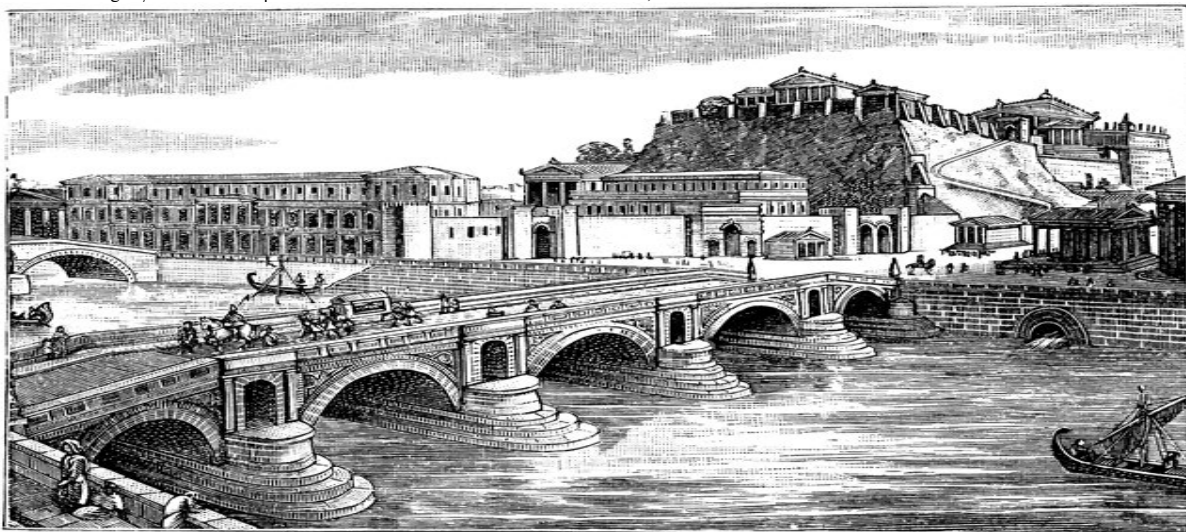
Il *Capitolo 2* è dedicato alla descrizione della riduzione del peso specifico del materiale di depurazione nella linea fanghi, con l'obiettivo di ridurre la produzione, a fronte di investimenti innovativi, volti a migliorare la loro stabilizzazione. Nel presente lavoro è presentato e discusso il pretrattamento ad ultrasuoni, unica metodologia applicabile sull'impianto oggetto di esame. In conclusione si sono confrontati i dati ottenuti con i risultati ottenibili con il processo "Cambi", che, attualmente, produce notevoli riduzioni del fango a fronte, però, di un elevato dispendio energetico.

Il *Capitolo 3* è dedicato alla descrizione degli apparati sperimentali e alle modalità di esecuzione delle prove, con la descrizione della procedura messa a punto per la valutazione tecnico-economica delle differenti soluzioni di gestione/minimizzazione dei fanghi e con la descrizione delle metodiche analitiche utilizzate nel corso delle sperimentazioni.

I *Capitoli 4, 5 e 6* sono dedicati all'esposizione dei risultati delle prove eseguite presso l'impianto di Cropani Marina, e sono riportati i risultati della procedura di valutazione tecnico-economica concepita nell'ambito del progetto regionale, in cui è stato ipotizzato di minimizzare la quantità di fanghi (primari e di supero) da smaltire mediante il processo ultrasonoro e di recuperare energia durante il processo.

Nelle *Conclusioni* sono riportate le considerazioni e le prospettive future per il miglioramento qualitativo degli impianti di depurazione.

The Capitoline Hill is a Roman hill between the Forum and the Campus Martius. The Cloaca Maxima was one of the world's earliest sewage systems. "The Capitoline and Cloaca Maxima. A restoration." -Allen, 1890.



CAPITOLO I

I Fanghi di Depurazione Strategie di Intervento Innovative

Negli impianti di trattamento delle acque reflue urbane ed industriali il processo di rimozione della sostanza organica (biodegradabile) avviene a carico di batteri che possono essere di tipo autotrofo o eterotrofo (a seconda se utilizzano come fonte di nutrimento il carbonio di tipo inorganico o organico) che, a loro volta, possono essere distinti in batteri aerobici, anossici e anaerobici (a seconda dell'accettore di elettroni).

I substrati (carbonio, azoto e fosforo, ecc...) vengono degradati dal metabolismo batterico attraverso una serie di reazioni biochimiche che portano alla formazione di anidride carbonica e acqua. È fondamentale considerare un valore molto importante ai fini della ricerca, ovvero il rapporto tra biomassa prodotta e biomassa ossidata, che è molto elevato (0,6-0,7 nei trattamenti aerobici. Di conseguenza una parte significativa di questa nuova biomassa deve essere allontanata dal sistema insieme alla biomassa morta e ai composti inorganici. L'insieme di queste sostanze viene indicato come *fango di depurazione*, a sua volta suddiviso in fango biologico primario, secondario o chimico, a seconda dal processo da cui deriva.

Rapportato con il volume di acqua trattato nell'impianto, il fango di depurazione equivale ad una piccola percentuale, infatti "pesa" per circa l'1% (ipotizzando un contenuto di secco dello 0,5%).

Di converso, il trattamento e lo smaltimento di questo piccolo volume ha un'incidenza sui costi di gestione (includendo anche quelli relativi allo smaltimento, alla manodopera e quelli energetici) variabile dal 20 al 60% (Mahmood and Elliott, 2006; Pérez-Elvira et al, 2006; Foladori et al, 2010; He and Wei, 2010)

Nel corso degli anni '90 analizzando il processo si osservò che lo smaltimento del fango rappresentava un'enorme criticità.

Introduzione

Paragonando i processi di depurazione europei con quelli italiani, si è accertato come negli altri Paesi europei vi è la tendenza ad andare verso una strategia comune per la gestione dei rifiuti biodegradabili. Infatti nei Paesi dell’U.E. si è diffuso il principio della prevenzione, intesa come riduzione della produzione, al fine di garantire il massimo riuso, il riciclo di materiale e il recupero di energia, al posto del mero conferimento.

È pertanto evidente che la problematica dei fanghi di depurazione deve essere affrontata con un approccio di tipo globale, ossia, massimizzando le strutture esistenti (in termini di rese), utilizzando strategie di riduzione della produzione dei fanghi mirate sia all’utilizzo di opportune soluzioni tecnologiche (applicabili sia in linea acque che in linea fanghi) che attraverso una pianificazione adeguata da parte delle autorità (per esempio, attraverso l’adozione di piani d’ambito).

Le più recenti indagini sul panorama impiantistico italiano evidenziano come, relativamente alla depurazione delle acque di scarico urbane, la problematica correlata alla funzionalità degli impianti assuma dimensioni significative, spesso a causa di carenze gestionali, altre volte per malfunzionamenti delle fasi di trattamento dovuti a non corrette valutazioni effettuate in sede progettuale (di solito relativamente alla stima del carico inquinante/idraulico). Tali indagini, peraltro, hanno evidenziato come, in diversi casi, esistano significativi margini di miglioramento delle prestazioni degli impianti (Collivignarelli e Bertanza, 2005; ISPRA, 2009).

In molti casi ai malfunzionamenti degli impianti si fa fronte con interventi di ampliamento che richiedono forti investimenti e a volte non garantiscono la rimozione del problema.

Tali interventi sono peraltro motivati, oltre che dalla necessità di garantire con continuità rendimenti depurativi accettabili, dalla necessità di rispettare limiti normativi sempre più restrittivi, eventualmente anche per il riutilizzo delle acque depurate (D.M. 185/2003).

Tuttavia, prima ancora di progettare interventi più o meno radicali con il ricorso a tecnologie più o meno consolidate, va tenuto presente che è necessario **procedere all’ottimizzazione e all’individuazione delle singole fasi che fungono da “collo di bottiglia” dell’intero processo.**

Appare quindi evidente come il massimo sfruttamento dell’impianto nella configurazione esistente sia il primo traguardo da raggiungere. Solo una volta raggiunto tale obiettivo (che consente tra l’altro una riduzione dei costi di trattamento) potranno essere intraprese le

iniziative di ulteriore *upgrading* (anche strutturale) necessarie a conseguire l'incremento di prestazioni (per esempio massimizzazione della produzione di biogas o minimizzazione della produzione di fango).

Ad oggi, va evidenziato come, purtroppo, l'ottimizzazione della gestione, normalmente non faccia parte del patrimonio culturale dei responsabili degli impianti che vedono, il più delle volte, la risoluzione dei problemi correlata agli interventi di *upgrading* strutturale.

Pertanto, al fine di comprendere ed identificare il problema (quindi trovarne la migliore soluzione) è necessario procedere attraverso: la verifica delle condizioni di funzionamento basata sul monitoraggio, il calcolo di indici di funzionalità, l'esecuzione di verifiche di funzionalità ed è in base ai risultati di questa analisi che devono essere valutati eventuali nuove installazioni.

Il primo strumento che permette di valutare la funzionalità di un impianto è il suo monitoraggio. Il monitoraggio, inteso nel senso più ampio del termine, è finalizzato a verificare, in particolare:

- a) La conformità dell'acqua trattata con i limiti di legge;
- b) Le rese depurative dei diversi trattamenti;
- c) Le caratteristiche e lo "stato di salute" dei comparti di trattamento;
- d) Il mantenimento dei corretti valori dei "parametri di processo".

L'attività di monitoraggio si differenzia a seconda del fine che si intende raggiungere, ovvero della situazione specifica; gli ambiti in cui si prevede il monitoraggio sono infatti così distinguibili:

- a) Collaudo ed avviamento dell'impianto;
- b) Gestione ordinaria.

Il gestore di un impianto si trova pertanto a dover effettuare una serie di scelte, per valutare, innanzitutto:

- a) I parametri da misurare;
- b) La frequenza di campionamento;
- c) I punti di campionamento tenendo conto del costo delle analisi (reagenti e strutture) e del tempo di esecuzione (quindi della manodopera impegnata).

La scelta dei parametri da rilevare presuppone la conoscenza del significato da loro assunto nella fase considerata. I dati, infatti, devono fornire informazioni significativamente utili e facilmente interpretabili

Analisi, Mappatura e Misurazione dei Processi

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

al fine di consentire la buona conduzione dell’impianto e, laddove necessario, interventi mirati ed efficaci da parte del gestore.

Il monitoraggio viene effettuato attraverso la rilevazione di una serie di parametri di tipo chimico-fisico e biologico e attraverso la determinazione di parametri “operativi”.

Le analisi chimico-fisiche, che vengono in genere eseguite su campioni prelevati in ingresso ed uscita dall’impianto, riguardano parametri previsti dal D.lgs. 152/06 quali: azoto nelle diverse forme, solidi sospesi totali, COD, BOD, *eccetera*. Possono poi essere richieste analisi specifiche, in funzione delle particolari situazioni.

Tra i parametri “operativi” vanno sicuramente menzionati i seguenti: *ossigeno disciolto, temperatura, pH, potenziale redox, portate, eccetera*.

Distinguiamo due tipologie di monitoraggio (Collivignarelli et altri, 2000):

- monitoraggio “routinario”: effettuato nell’ambito della normale gestione dell’impianto di depurazione;
- monitoraggio “intensivo”: determinato da qualche necessità specifica e limitato a un periodo di tempo circoscritto (qualche settimana) e, possibilmente, da ripetersi con scadenze definite nel corso dell’anno.

Dando per scontata la definizione di “*monitoraggio routinario*”, necessita invece di qualche approfondimento il concetto di “*monitoraggio intensivo*”.

Il monitoraggio “*intensivo*” deve essere effettuato per un periodo significativo (*almeno un mese*). Tale monitoraggio prevede l’analisi dei parametri più significativi/critici in ingresso ed in uscita da ogni singola fase di trattamento, al fine di valutare l’efficienza di rimozione di parametri specifici nei singoli stadi di trattamento.

I dati sperimentali raccolti attraverso il monitoraggio dell’impianto vanno elaborati ed interpretati per poter pervenire ad un giudizio circa il grado di funzionalità di un impianto.

Il giudizio circa la funzionalità dell’impianto può essere effettuato mediante la definizione di indici di funzionalità. Nel paragrafo seguente verrà esposta una procedura che, attraverso la definizione di indici, consente di giungere ad un giudizio di funzionalità dell’impianto.

Indici di funzionalità degli impianti

La funzionalità di un impianto viene per lo più valutata in termini di efficienza depurativa, pertanto, la maggior attenzione nella gestione viene data alla linea acque, trascurando, nella maggior parte dei casi,

aspetti quali i consumi di energia, reagenti, i costi di gestione e di trattamento e smaltimento dei fanghi.

Ovviamente, considerare il solo aspetto legato all'efficienza depurativa, porta il gestore ad avere una visione "distorta" del proprio impianto e ad uno sbilanciamento delle risorse (intese come costi ed investimenti) in quanto si concentra esclusivamente su quell'aspetto, considerando marginali gli altri.

La gestione dei fanghi, ma anche i consumi energetici, è un esempio di questa distorsione. I fanghi, infatti, vengono normalmente visti come un "prodotto" della depurazione che deve essere smaltito al minor costo e col minor "sforzo", pertanto, poca attenzione viene data alla loro gestione.

In questo paragrafo viene brevemente esposta la procedura, tratta da "*L'ottimizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane: massimizzazione dei recuperi di risorsa (acqua e fanghi) e riduzione dei consumi energetici*" (ISPRA, 2009) che può essere utilizzata per una valutazione della funzionalità degli impianti di depurazione, con particolare riguardo alla linea fanghi.

L'utilizzo di tale procedura (basata sulla determinazione di indici di funzionalità calcolati a partire dai dati gestionali) ha il vantaggio, oltre a quello di considerare l'impianto nella sua totalità, di rappresentare in forma molto sintetica e immediata le condizioni di funzionamento e le prestazioni dell'impianto.

Opportunamente integrata tale procedura consente una valutazione complessiva dell'intero processo depurativo, anche se di seguito verrà esposta la sola parte relativa agli indici di funzionalità relativi alla linea fanghi.

Si sottolinea che, affinché il giudizio finale sia rappresentativo della situazione oggetto di studio, è necessario che i parametri utilizzati per la determinazione degli indici e, più in generale, i criteri di valutazione presentati, devono essere tarati utilizzando i dati opportunamente raccolti ed elaborati. Pertanto, se lo scopo della procedura è quello di valutare un singolo impianto, i dati da utilizzare per tarare gli indici devono essere necessariamente quelli gestionali dello stesso, viceversa, se lo scopo è quello di un uso più generalizzato (valutazione a livello di ambito territoriale, ad esempio) la taratura dei parametri deve essere effettuata utilizzando (in modo opportuno) i dati gestionali di tutti gli impianti oggetto di studio.

Metodologia di valutazione

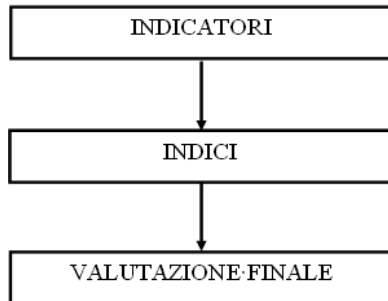


fig. 2 Schema concettuale del metodo per la definizione di indicatori sintetici della funzionalità degli impianti di depurazione.

Per la definizione di indicatori sintetici della funzionalità degli impianti di depurazione viene proposto un metodo, il cui schema concettuale è rappresentato nella fig. 2.

Gli indicatori sono parametri di dettaglio (ad esempio, rendimenti di depurazione, concentrazioni, costi specifici, produzione di fanghi, ecc.) calcolati sulla base di dati gestionali. Essi concorrono alla definizione degli indici.

Gli indici di efficienza/efficacia possono riguardare aspetti tecnico-economici, quali: l'efficienza depurativa dell'impianto (D); i consumi di energia (E); i consumi di reagenti e combustibile (R); i costi (C) e la gestione dei fanghi (F).

La valutazione finale (V) è un valore numerico riassuntivo di tutti gli aspetti tecnico-economici considerati e si determina calcolando una somma pesata di tutti gli indici, come riportato nell'equazione (1.3.1.1).

$$V = D \cdot p_D + F \cdot p_F + E \cdot p_E + R \cdot p_R + C \cdot p_C \quad (1.3.1.1)$$

La somma di tutti i pesi p_i considerati nella formula (1.3.1.1) deve essere uguale ad 1.

Per il calcolo di ciascun indice si devono dapprima individuare una serie di indicatori, che contribuiscono a caratterizzare il particolare indice considerato. Nella tabella tab.1 sono riportati una serie di indicatori utilizzabili per la definizione dei diversi indici in particolare, per ciascun indicatore sono riportati: la definizione e gli indici che possono essere calcolati utilizzando tale indicatore.

Si precisa che tutti gli indicatori riportati possono essere ricavati dai dati gestionali che, come accennato in precedenza, sono ritenuti necessari per descrivere il grado di efficacia/efficienza di un impianto di depurazione.

tab. 1 Indicatori utilizzabili per la determinazione dei diversi indici tecnico-economici.

Nome indicatore	U.M.	Indici calcolati
Rendimenti di rimozione degli inquinanti*	%	D
Concentrazioni in uscita degli inquinanti*	Mg/L	D, F
Produzione totale di fango	KgSS/d	F
Rapporto tra SSV e SST nel fango	-	F
Umidità	%	F
Quantitativo di fanghi destinato a recupero energetico	%	F

Quantitativo di fanghi destinato a recupero di materia	%	F
Energia elettrica per il sistema di fornitura dell'ossigeno	KWh/d	E
Energia elettrica per altri processi presenti nell'impianto	KWh/d	E
Energia elettrica autoprodotta nell'impianto	KWh/d	E
Energia termica autoprodotta nell'impianto	KWh/d	E
Consumo di reagenti in linea acque e linea fanghi	Kg/d	R
Costo relativo al personale	€/d	C
Costo relativo al consumo di energia elettrica	€/d	C
Costo relativo al consumo di reagenti	€/d	C
Costo di smaltimento dei fanghi	€/d	C
Costo relativo alla manutenzione ordinaria	€/d	C
Altri costi di gestione	€/d	C

In generale, le prestazioni di un impianto (esprese in termini di indici) vengono valutate confrontando gli indicatori effettivi (cioè che risultano dall'elaborazione dei dati gestionali) con valori "attesi" degli indicatori stessi (valutati, per ogni caso specifico, in funzione delle condizioni di funzionamento).

Per quanto riguarda l'indice relativo alla gestione dei fanghi esso deve tenere conto della produzione, delle modalità di trattamento e di smaltimento finale. Per ciascuno di questi tre fattori si può definire un "indice parziale".

Gli indicatori utili al calcolo di detti indici sono i seguenti:

1. Quantitativo di fanghi prodotti (P_{fanghi}), cioè la quantità di fanghi in uscita dall'impianto (dopo tutti i trattamenti: stabilizzazione, disidratazione, eventuale essiccamento ecc.);
2. Rapporto tra solidi sospesi volatili e solidi sospesi totali (SSV/SST), che rappresenta il grado di stabilizzazione del fango;
3. Umidità (u), espressa in termini percentuali, dei fanghi smaltiti;

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

4. Percentuale di fango destinato a recupero energetico (% *recupero di energia*) e di materia (% *recupero di materia*);
5. Concentrazione di solidi sospesi in uscita dalla linea acque (C_{ss}).

Come per altri parametri, ciascun indicatore preso in considerazione dipende da molti fattori (schema dell'impianto, età dell'impianto, caratteristiche dell'influente, classe dimensionale, ecc.).

Gli indicatori descritti in precedenza, sono utilizzati per calcolare, tre “indici parziali”:

1. Indice di produzione dei fanghi (1.3.1.2):

$$F_{produzione} = \frac{P_{fango, atteso} + C_{attesa, SS} \frac{Q}{1000}}{P_{fango, reale} + C_{attesa, SS} \frac{Q}{1000}}$$

Dove:

1. $F_{produzione}$: indice di produzione dei fanghi;
2. $P_{fango, atteso}$: *quantitativo atteso di fanghi prodotti [kgSS/d]*;
3. $P_{fango, reale}$: *quantitativo reale di fanghi prodotti [kgSS/d]*;
4. $C_{attesa, ss}$: *concentrazione in uscita attesa relativa ai solidi sospesi [mg/L]*;
5. $C_{reale, ss}$: *concentrazione in uscita reale (media del periodo di riferimento) relativa ai solidi sospesi [mg/L]*;
6. Q : *portata media giornaliera del periodo di riferimento [m³/d]*.

2. *Indice di trattamento dei fanghi (1.3)*

$$F_{trattamento} = p \cdot \frac{\left(\frac{SSV}{SST}\right)_{atteso}}{\left(\frac{SSV}{SST}\right)_{reale}} + (1-p) \cdot \frac{u_{attesa}}{u_{reale}}$$

Dove:

1. $F_{trattamento}$: indice di produzione dei fanghi;

2. $\left(\frac{SSV}{SST}\right)_{atteso}$: rapporto atteso tra solidi sospesi volatili e totali del fango stabilizzato;
3. $\left(\frac{SSV}{SST}\right)_{reale}$: rapporto reale tra solidi sospesi volatili e totali del fango stabilizzato, prima dell'aggiunta di condizionanti per la disidratazione meccanica;
4. U_{attesa} : umidità attesa del fango;
5. U_{reale} : umidità reale del fango;
6. p : peso relativo al rapporto tra solidi sospesi volatili e totali.

3. Indice di destinazione finale dei fanghi (1.4)

$F_{destinazione\ finale} = \% \text{ rec. energia} + \% \text{ rec. Materia}$

Dove:

- ✓ $F_{destinazione\ finale}$: indice di destinazione dei fanghi;
- ✓ $\% \text{ rec. energia}$: quantitativo di fanghi destinato al recupero energetico;
- ✓ $\% \text{ rec. materia}$: quantitativo di fanghi destinato al recupero di materia.

Per determinare i valori attesi relativi al quantitativo di fanghi prodotti ($P_{fango, atteso}$) si moltiplica la produzione pro-capite attesa (i cui valori, in funzione dello schema impiantistico, sono riportati nella tabella tab. 2) per la potenzialità effettiva dell'impianto (ricavata dal carico influente giornaliero medio del *periodo di riferimento considerato*), dividendo poi per 1.000. È comunque possibile modificare i quantitativi pro-capite di fanghi prodotti, sulla base dei fattori prima elencati nonché di altre situazioni particolari (ad esempio, se il *periodo di riferimento* è collocato interamente in una stagione calda oppure fredda, sarà opportuno tener conto dell'effetto della temperatura sulla produzione di fanghi).

Categoria schema impiantistico	Produzione pro-capite di fango [gSS/ab · d]
Ossidazione biologica senza sedimentazione primaria	38
Ossidazione biologica con sedimentazione primaria	46

tab. 2 Valori attesi della produzione pro-capite di fanghi (ISPRA, 2009).

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

Ossidazione biologica con filtrazione terziaria o chiari flocculazione (anche con sedimentazione)	50
Impianti non rientranti nelle categorie precedenti	46

Per quanto riguarda invece l’umidità del fango i valori attesi considerati, in funzione della tipologia di disidratazione meccanica, sono i seguenti (tali valori sono comunque modificabili sulla base di ulteriori indicazioni):

- ✓ centrifuga → $U_{attesa} = 85\%$
- ✓ nastropressa → $U_{attesa} = 80\%$
- ✓ filtropressa → $U_{attesa} = 70\%$

Si precisa che si tratta di valori riferiti ai macchinari di tipo “convenzionale”. In effetti, oggi sono disponibili dispositivi che presentano rendimenti anche sensibilmente più elevati, ma, allo stato attuale, la loro diffusione sugli impianti è ancora relativamente limitata.

Per quanto riguarda infine il rapporto tra solidi sospesi volatili e totali, il valore atteso, indipendentemente dallo schema dell’impianto, è pari a 0,60 – 0,65 (valore tipico 0,65).

Per il calcolo dell’indice relativo alla gestione dei fanghi si applica la seguente formula (1.3.1.5):

$$F = p_{produzione} \cdot F_{produzione} + p_{trattamento} \cdot F_{trattamento} + p_{destinazione} \cdot F_{destinazione}$$

dove:

- ✓ F : indice relativo alla gestione dei fanghi;
- ✓ $F_{produzione}$: indice parziale di produzione dei fanghi;
- ✓ $F_{trattamento}$: indice parziale di trattamento dei fanghi;
- ✓ $F_{destinazione}$: indice parziale di destinazione dei fanghi;
- ✓ $p_{produzione}$: peso relativo all’indice di produzione dei fanghi;
- ✓ $p_{trattamento}$: peso relativo all’indice di trattamento dei fanghi;
- ✓ $p_{destinazione}$: peso relativo all’indice di destinazione dei fanghi.

Relativamente agli indici parziali sopra esposti, quello che è in grado di rappresentare l’efficienza della linea fanghi è l’indice di trattamento ($F_{trattamento}$). In figura fig. 3 viene riportato un grafico in cui, per impianti di diversa potenzialità, si mostra il valore dell’indice di

trattamento *Ftrattamento*. Pur non potendo considerare il grafico di fig. 3 rappresentativo della situazione italiana nella sua globalità visto il numero limitato di impianti in esso riportato (ma abbastanza indicativo vista l'ampiezza delle potenzialità considerate), è possibile notare come, comunque, il valore dell'indice di trattamento risulti essere inferiore all'unità o, comunque, di poco superiore ad essa.

Inoltre, è possibile osservare che gli impianti di medio-grande potenzialità (ossia maggiori ai 30 000 AE) presentano un valore dell'indice di trattamento del fango maggiore rispetto a quelli di piccola potenzialità (< 30 000 AE). Questo è dovuto al fatto che, normalmente, gli impianti più grandi vengono realizzati con linee fanghi più "complesse" e, quindi, mediamente più performanti. Nonostante questo, l'indice di trattamento dei fanghi si discosta di poco dall'unità (valore massimo 1,13) evidenziando che le prestazioni reali delle linee fanghi sono inferiori (o di poco superiori) a quelle attese, confermando così la scarsa attenzione riposta dai gestori a

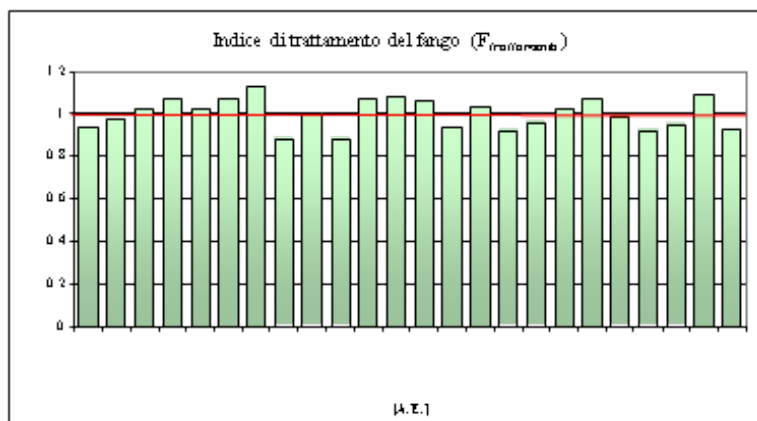


fig. 3 Indice di trattamento del fango per diverse potenzialità di impianto (su elaborazione dei dati riportati in ISPRA, 2009 e Collivignarelli et al., 2011). La linea rossa orizzontale rappresenta la "sufficienza".

questa parte dell'impianto.

In linea generale la fase precedentemente descritta consente di fotografare lo stato di salute dell'impianto e porta a due possibili scenari: uno positivo (indici di funzionalità maggiori all'unità) ed uno negativo (indici di funzionalità inferiori all'unità).

Nel primo caso (indici di funzionalità maggiori all'unità), non è necessario attuare ulteriori verifiche in quanto l'impianto funziona in modo adeguato e le sue potenzialità sono adeguatamente sfruttate. In questo caso il monitoraggio avrà il solo scopo di fornire al gestore gli elementi per indirizzare le "manovre di controllo" dell'impianto, adeguando di volta in volta le condizioni di processo in funzione delle variazioni dei parametri esterni (caratteristiche del refluo alimentato, temperatura, ecc.).

Le verifiche di funzionalità applicate alla linea fanghi

Se, viceversa, il monitoraggio mostra una situazione di scarsa efficienza depurativa e gli indici sono inferiori all'unità, occorre procedere alla fase successiva della procedura di valutazione, ossia alla verifica di funzionalità dell'impianto (o del comparto), i cui risultati devono essere analizzati in modo integrato.

Nel caso, quindi, in cui si renda necessario effettuare delle verifiche di funzionalità dell'impianto bisognerà procedere, in primis, ad un confronto tra la potenzialità nominale dell'impianto e il carico influente (verifica di dimensionamento) al fine di verificare se i rendimenti ottenuti sono quelli che effettivamente ci si deve attendere sulla base delle caratteristiche dell'impianto e del tipo di carico inquinante da trattare. In caso di sovraccarico accertato, si procederà allo studio di interventi di potenziamento adeguati.

Qualora l'impianto manifesti carenze non giustificabili in base a sovraccarichi (oltre all'esecuzione di un intenso piano di monitoraggio che riguardi tutti i parametri chimico-fisici e biologici), possono risultare di estrema utilità anche altri tipi di verifiche sperimentali che possono essere condotte sia direttamente sull'impianto (per esempio, la verifica del comportamento idrodinamico dei bacini di trattamento; la quantificazione della capacità di ossidazione degli apparati di aerazione in rapporto al fabbisogno della biomassa; la valutazione delle caratteristiche di sedimentabilità del fango, ecc.) sia in laboratorio (prove di Jar Test, verifiche di consumo di ossidante, test respirometrici, prove di ispessimento in cilindri graduati, ecc.).

Tali metodi, inizialmente applicati solo ad alcune fasi di trattamento (vasca di ossidazione e sedimentatore finale, per esempio), sono stati recentemente adattati e testati, sia alla scala pilota che alla scala reale, su tutti gli stadi normalmente presenti negli impianti di depurazione di reflui urbani ed industriali, nonché negli impianti di potabilizzazione. Oltre ad una serie di verifiche che sono ormai considerate di tipo “consolidato” (in quanto ormai messe a punto da diversi anni) possono essere condotte verifiche di carattere più “innovativo” che riguardano aspetti, quali: il calcolo dei consumi energetici, il calcolo dei consumi di reagenti e la determinazione di bilanci di massa su parametri “non convenzionali” (metalli pesanti e parametri conservativi quali grassi e oli animali e vegetali, solfuri e solfiti e sostanze organiche).

In questo modo si può pervenire ad una diagnosi completa delle condizioni di funzionalità dei diversi comparti e dell'impianto nella sua globalità, individuandone le disfunzioni e potendo così definire gli interventi correttivi o migliorativi più opportuni da attuare a livello

gestionale (ed eventualmente strutturale), per sfruttare al massimo le potenzialità dell'impianto.

Giova sottolineare che, al di là della “fotografia” di una determinata situazione, le verifiche di funzionalità possono essere viste come un utile strumento di esame periodico (qualora vengano ripetute con opportuna frequenza temporale) al fine di monitorare il decadimento prestazionale “fisiologico” degli impianti, per verificare gli effetti degli interventi di volta in volta attuati o semplicemente per verificare il comportamento dell'impianto in diverse condizioni di carico.

Nonostante sia ormai assodata l'utilità di effettuare periodicamente verifiche di funzionalità dell'impianto, esse non sono normalmente adottate in quanto richiedono un (modesto) “sforzo” aggiuntivo. Se questo vale per la linea acque (comparto al quale i gestori prestano la maggiore attenzione) e in cui le procedure di verifica esistono da diversi anni, a maggior ragione vale per la linea fanghi (comparto al quale viene posta ancora poca attenzione) per la quale non esistevano fino ad oggi procedure di verifica.

Pensando alle diverse sezioni di trattamento presenti in una linea fanghi di tipo “convenzionale”, i comparti oggetto di possibili verifiche di funzionalità sono:

- a) Ispessimento (al quale possono essere aggiunti il prefisso pre e/o post, a seconda che esso sia installato a monte o a valle della fase di stabilizzazione);
- b) Stabilizzazione (anaerobica o aerobica);
- c) Disidratazione.

Per ciascun comparto possono essere effettuate specifiche valutazioni. I parametri da considerare sono: la portata di fango, il carico di solidi sospesi totali (SST) e volatili (SSV), nonché una serie di parametri fisico-chimici, quali, per esempio, BOD, COD e nutrienti (nelle diverse forme). Tali determinazioni analitiche devono essere condotte su tutti i flussi in ingresso ed in uscita dal comparto, che possono essere sia di tipo solido, liquido o gassoso. Tale approccio, ad oggi, non è risultato molto diffuso nella valutazione della funzionalità di un comparto e questo non consente una valutazione complessiva. Nel caso del comparto di disidratazione, per esempio, si è soliti esprimerne l'efficienza in termini di secco finale, dimenticandosi (erroneamente) delle conseguenze che ha il ricircolo in testa all'impianto di depurazione del surnatante (per esempio, in termini di consumi energetici aggiuntivi dovuti al carico di azoto e COD).

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

Vi sono poi una serie di parametri di processo che devono essere parimenti misurati (per esempio, la temperatura, l’ossigeno disciolto, il pH, la produzione di biogas ecc.) o calcolati (per esempio, il tempo di ritenzione idraulica e l’età del fango); ciò al fine di correlare l’efficienza dell’impianto alle condizioni di funzionamento.

Si sottolinea che, importanti informazioni possono essere ricavate anche dal calcolo dei bilanci di massa, utili anche ai fini di una verifica dei parametri di progetto (verifica di dimensionamento).

Talvolta, può essere utile, oltre alle verifiche condotte direttamente sull’impianto, anche l’effettuazione di prove sperimentali specifiche che possono dare informazioni, per esempio, circa le caratteristiche di ispessimento dei fanghi, e la loro attitudine alla disidratazione meccanica.

Di seguito vengono riportate le verifiche di funzionalità applicabili ai diversi comparti della linea fanghi, alcune delle quali di recentissimo concepimento.

Verifica del comparto di ispessimento

La corretta funzionalità del comparto d’ispessimento dei fanghi consente di migliorare non solo la resa dei processi di trattamento posti a valle di esso, in particolare la digestione (un fango più ispessito permette di avere un volume del digestore minore) e la disidratazione, ma anche ridurre le portate volumetriche dei fanghi da movimentare.

Tali aspetti hanno evidenti ripercussioni di carattere economico-gestionale, pertanto, avere un comparto di ispessimento efficiente consente un risparmio nei costi di gestione dell’impianto. A tal proposito basti pensare che ispessendo dall’1 al 2% un fango si ottiene una riduzione di volume del 50% che può arrivare fino all’80% se si spinge il processo di ispessimento fino al 5% (Sanin et altri 2008).

La verifica del comparto di ispessimento può essere adottata: in sede di ampliamento dell’impianto o sostituzione dei sistemi di disidratazione/ispessimento (consente di individuare la tecnologia più convenientemente applicabile, in funzione degli obiettivi prefissati) oppure in fase di gestione, in quanto può risultare utile conoscere se e come, eventualmente, cambiano le proprietà d’ispessimento del fango al variare delle condizioni operative dell’impianto (in ordine, ad esempio, alla temperatura del liquame, al carico influente, alla presenza di scarichi industriali saltuari o stagionali, al dosaggio di reattivi, al tempo di permanenza nell’ispessitore, alla presenza o meno di un sistema di movimentazione del fango, ecc.).

La verifica può essere condotta su fanghi primari, secondari o misti e si compone di due fasi: una prima fase sperimentale/analitica (condotta in laboratorio) in cui si simula il processo di ispessimento in idoneo recipiente e si analizzano e misurano i parametri di interesse (posizione dell'interfaccia nel tempo all'interno del recipiente di prova e contenuto di solidi nel fango, nel surnatante e nell'eventuale materiale flottato) ed una seconda fase in cui si elaborano i risultati.

Al fine di tenere conto delle numerose tipologie di sistemi di ispessimento ad oggi disponibili, le prove di ispessimento devono essere condotte in modo da poter valutare il comportamento del fango in differenti condizioni operative (ossia riprodurre quelle del sistema alla scala reale esistente o futuro). Si potranno, pertanto, avere: prove per simulare l'ispessimento statico oppure meccanizzato, con o senza aggiunta di condizionante nel fango.

La fase di elaborazione dei dati consente di determinare una serie di parametri utili per il dimensionamento (nel caso di sostituzione dell'esistente o di nuova realizzazione) o per l'ottimizzazione del comparto quali, ad esempio, la velocità di ispessimento del fango, il carico di solidi (ottenuto moltiplicando la velocità di ispessimento per la concentrazione di solidi – $\text{kg}/(\text{h}/\text{m}^2)$) nonché le caratteristiche del fango ispessito e del surnatante.

Il trattamento di stabilizzazione anaerobica (chiamato generalmente digestione anaerobica) risulta essere uno dei processi maggiormente diffuso nel panorama impiantistico italiano. Lo scopo dei processi di stabilizzazione è: ridurre la putrescibilità del fango, ossia il contenuto di materiale rapidamente biodegradabile; ridurre il contenuto di patogeni e le maleodorazioni.

L'efficacia del processo di stabilizzazione viene normalmente valutata in base al grado di stabilizzazione del fango in uscita dal digestore; tale parametro viene indicato dal rapporto SSV/SST. Un fango viene ritenuto stabilizzato se si raggiunge un abbattimento dei SSV di almeno il 20%, ossia se si ha un rapporto SSV/SST pari a 0,4 – 0,5 ($\text{kgSSV}/\text{kgSST}$).

La verifica della funzionalità di un digestore anaerobico può essere condotta valutando sia l'efficacia del sistema di mescolamento che analizzando le diverse frazioni in esso presente (solida, liquida e gassosa).

Un possibile criterio per la verifica della funzionalità del sistema di agitazione consiste nella valutazione dell'omogeneità della miscela in

Verifica del comparto di stabilizzazione

trattamento, che si può effettuare determinando il profilo longitudinale dei solidi sospesi totali.

Questa prova consiste nel prelievo di campioni di fango per ogni metro di profondità, partendo dalla superficie superiore del digestore. Su tali campioni dovranno poi essere determinati i solidi sospesi totali (SST). Se gli scostamenti rispetto alla media delle determinazioni effettuate dovessero superare i 5 g/L si può senz'altro affermare che la miscelazione è insufficiente, quindi, si è in presenza di una carenza di agitazione. È peraltro accettabile un incremento della concentrazione dei solidi in prossimità del fondo del digestore, zona che risente in modo minore dell'influenza del sistema di agitazione.

Un secondo metodo per valutare l'efficienza del sistema di agitazione consiste nella determinazione del profilo della temperatura all'interno del digestore.

A causa della notevole inerzia di massa del sistema e dell'effetto tamponante dovuto ai vari equilibri biologici e chimici che hanno luogo simultaneamente, il controllo del processo richiede la verifica simultanea e prolungata nel tempo di più parametri di funzionamento.

I controlli devono essere effettuati sulla fase solida, liquida e gassosa; anche se solo questi ultimi sono quelli che consentono di avere un quadro immediato di ciò che sta succedendo all'interno del digestore in quanto risentono prima delle variazioni del sistema; allo stesso tempo, però, risultano essere i più onerosi in termini di strumentazione necessaria.

Le verifiche sulla fase solida consistono essenzialmente nella determinazione dei solidi sospesi totali e volatili in ingresso ed in uscita dal digestore; ciò non solo per verificare il rendimento del processo, ma anche per quantificare la quantità di acqua immessa nel sistema. L'acqua in ingresso al digestore, infatti, deve essere ridotta al minimo non solo perché così facendo si aumenta il tempo di ritenzione del fango (quindi il rendimento di stabilizzazione), ma anche per ridurre i consumi energetici associati al riscaldamento della massa liquida. Inoltre, un minor contenuto di acqua è vantaggioso in quanto consente di non ridurre il potere tampone della miscela acqua/fango/gas. Va evidenziato che un fango con un elevato contenuto di secco necessita di un sistema di miscelazione molto efficiente e può causare l'occlusione delle tubazioni con i conseguenti problemi gestionali (Franchini e Berton, 2000).

Per quanto riguarda le verifiche sulla *fase liquida*, le variabili principali del processo sono pH, alcalinità totale, concentrazione di

bicarbonati e acidi volatili grassi (VFA) (Lorenzi et altri, 2012). L'alcalinità totale ed il pH non sono però utili allo scopo di controllo di processo in quanto subiscono una variazione trascurabile in seguito a disfunzioni o anomalie. La concentrazione di acidi volatili (o il rapporto acidi volatili/alcalinità totale) è invece un parametro molto sensibile perché segnala subito l'insorgenza di anomalie (in condizioni normali la concentrazione di acidi volatili è solitamente inferiore a 200 mg/L, espressa come acido acetico, CH_3COOH). Anche la composizione degli acidi volatili, intesa come percentuale di acido acetico, fornisce utili indicazioni sull'attività delle varie popolazioni batteriche coesistenti. La determinazione della concentrazione e della composizione degli acidi volatili è però complessa e richiede l'uso del gascromatografo.

Un altro fattore da considerare è la possibile presenza di sostanze tossiche e di composti inibitori, che può avere origine sia esterna (ossia vengono introdotti con l'alimentazione composti quali, per esempio, metalli pesanti) sia interna (ossia composti che si formano con la degradazione del substrato organico quali, per esempio, VFA e ammoniaca). Quando l'origine dei fattori tossici è esterna, l'analisi chimica dei fanghi (sia all'interno che in alimentazione ed in uscita del digestore) può fornire utili indicazioni. Per un esame più approfondito del tema si rimanda alla letteratura di settore (Sanin et altri, 2008; Mignone, 2005).

Le verifiche sulla fase gassosa (strettamente legate alle altre verifiche da effettuare sulla fase liquida e solida) possono essere suddivise in due: verifiche sulla quantità e verifiche sulla qualità del biogas prodotto.

Va comunque evidenziato che le sole verifiche sulla fase gassosa non sono sufficienti, da un punto di vista operativo, a controllare il processo in quanto si tratta di una modalità di controllo che non permette di adottare azioni preventive sulla gestione del processo, ma che, di fatto, prende atto di quello che è già avvenuto.

La qualità e la quantità di biogas prodotto dipendono da molti fattori, tra i quali: le caratteristiche del substrato alimentato, l'eventuale presenza di sostanze tossiche e di composti inibitori e le modalità di processo utilizzate: (temperatura, carico organico (OLR) e miscelazione). In generale, cambiamenti nelle modalità di processo si ripercuotono in maniera indiretta sulle caratteristiche del biogas poiché tali cambiamenti influenzano prima di tutto l'attività dei microorganismi e, di conseguenza, la produzione di biogas.

Le verifiche sulla fase gassosa che interessano la quantità di biogas prodotto sono basate sulla stima e/o misura del volume di gas prodotto.

La verifica più semplice da effettuare consiste nel confrontare i dati medi di produzione di biogas ottenuti con quelli riportati in letteratura (il potenziale produttivo indicato in letteratura per i fanghi di depurazione delle acque reflue è di $0,75 \div 1,15 \text{ Nm}^3/\text{kgSSV}$ abbattuti, valori che, ovviamente, fanno riferimento a condizioni operative stabili) (Metcalf e Eddy, 1991; Passino, 1980).

Un altro metodo per definire e controllare la quantità di biogas prodotta dai fanghi è basata sulla conoscenza della quantità di COD abbattuto (calcolato come differenza tra COD della matrice in ingresso al digestore e del digestato). Noto tale valore si verifica che il digestore produca all'incirca $0,35 \text{ NL/ (g COD}_{\text{abbattuto}})$ (Bonomo, 2008). Ovviamente, vanno sempre tenuti nella giusta considerazione anche altri fattori nelle valutazioni, quali, ad esempio, le variazioni della produzione legate ai cambiamenti stagionali (cambiano i carichi di organico in ingresso al sistema), eccesso di materiali inerti conseguenti ad eventi meteorologici particolarmente intensi, ecc.

Inoltre, la quantità (e, inevitabilmente, la qualità) di biogas prodotto può essere valutata teoricamente mediante l'utilizzo di equazioni stechiometriche più o meno complesse e che trascurano o meno la biomassa prodotta (esempi sono le formule di Buswell e Cimochoicz-Rybicka). Ovviamente, l'utilizzo di queste formule fornisce la produzione massima teorica, pertanto, rappresenta il valore massimo producibile e non superabile.

In impianto, i principali metodi per definire la quantità di biogas prodotto consistono nell'utilizzare dispositivi di misurazione della portata in continuo. Nel caso non fosse disponibile un idoneo misuratore di portata è sempre possibile valutare la produzione netta di biogas mediante l'analisi delle quantità inviate ai successivi utilizzi nonché allo stoccaggio. Si ricorda che, in condizioni di regime e di buon funzionamento del digestore, la quantità di biogas prodotto dovrebbe essere grossomodo costante.

In merito alla qualità del biogas, oltre che all'utilizzo di equazioni empiriche, essa può essere valutata facendo riferimento ai valori medi dei singoli composti in esso presenti. La composizione attesa di un biogas derivante dalla digestione anaerobica dei fanghi di depurazione risulta essere la seguente: $25 \div 50\%$ di CO_2 , $55 \div 75\%$ di CH_4 ed altri composti in tracce, quali, acido solfidrico ($0,01 \div 1\%$), azoto ($2 \div 6\%$) e

idrogeno (0,1÷2%) (Pavlostathis et altri 1991; Cimochowicz-Rybicka; 1999; Bonomo, 2008, Metcalf e Eddy, 1991). Va sottolineato che, ovviamente, tali valori possono variare a seconda delle caratteristiche della sostanza organica alimentata, oltre che dalle condizioni operative.

Analisi semplici, ma molto indicative sulla composizione del biogas, permettono di calcolare indici come il rapporto tra CO₂ e CH₄ che consentono di valutare abbastanza bene l'andamento del processo di digestione, in quanto un aumento di acidi volatili in soluzione comporta un maggior consumo di bicarbonati, quindi, la liberazione di maggiori quantità di anidride carbonica.

Analogamente ad altre sezioni dell'impianto di depurazione (per esempio la vasca di ossidazione biologica), il rendimento del comparto di stabilizzazione (sia esso di tipo anaerobico o aerobico) dipende anche dall'eventuale incidenza di volumi morti o di altre alterazioni idrauliche all'interno del reattore (presenza, per esempio, di by-pass) nonché dall'efficienza del sistema di trasferimento dell'ossigeno, nel caso della stabilizzazione aerobica. Indicazioni in merito a questi aspetti sono dati dalle verifiche del comportamento idrodinamico del reattore e dalla capacità dei sistemi di fornitura dell'ossigeno. Per una descrizione completa ed esaustiva di tali verifiche si rimanda alla letteratura specifica (Bertanza e Collivignarelli, 2006).

Oggi giorno la verifica delle prestazioni del sistema di disidratazione meccanica viene eseguita, per lo più, limitandosi a valutare il contenuto di secco finale (% SST) nel fango disidratato in relazione al dosaggio (e costo) del condizionante. Per una valutazione più completa è necessario, però, un approccio integrato, che vada a considerare il bilancio di massa dei solidi (considerando anche le caratteristiche del surnatante che viene di norma ricircolato in testa all'impianto), i diversi parametri di processo (non solo, cioè, il dosaggio del condizionante), il costo totale di trattamento (non considerando quindi il solo costo di smaltimento finale del fango disidratato) (Bertanza e Papa, 2011).

Tale tipo di approccio, quindi, prevede che vengano determinati ed elaborati una serie di parametri oltre al normale contenuto di solidi nel fango disidratato.

Affinché la prova sia effettivamente significativa, è necessario che la macchina (o le macchine) utilizzata sia a scala industriale. Una volta individuata la macchina (o le macchine) da utilizzare è necessario

**Verifica del sistema di
disidratazione
meccanica**

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

provvedere alla caratterizzazione chimico-fisica del fango. Tale aspetto consente di ridurre al minimo il numero delle variabili (di per sé già elevato) che influenzano le prestazioni della macchina.

Preliminarmente alla prova a scala reale, possono essere condotti sul fango dei test al fine, per esempio, di individuare il tipo ed il dosaggio ottimale di condizionante, quindi, le condizioni operative da impostare.

Svolta tale operazione deve essere individuata una condizione di riferimento, ossia una sorta di “bianco”, con cui si dovrà poi confrontare i risultati ottenuti durante la prova. Come condizione di riferimento può essere considerata, per esempio, una macchina già operante sull’impianto, oppure un determinato tipo di condizionate ed il relativo dosaggio.

Un aspetto da tenere presente e che potrebbe costituire un vincolo impiantistico non trascurabile, è quello relativo alla disponibilità di fango in impianto. Infatti, nel caso in cui si testino più macchine, potrebbe verificarsi che la disponibilità di fango non sia tale da permettere l’esecuzione di più prove in parallelo (condizione ritenuta ottimale in quanto consente una maggiore significatività dei dati).

Il numero e la durata delle prove da eseguire devono essere tali da garantire la significatività dei risultati (per macchine che lavorano in continuo, ad esempio, si può ritenere congrua una durata di 3 ore, di cui la prima, di solito, è necessaria alla messa a punto della macchina). Durante la fase di effettuazione delle prove devono essere prelevati, con frequenza variabile, campioni del fango da trattare e campioni di fango disidratato nonché di surnatante.

Un possibile modello analitico da adottare è il seguente:

- a) Fango: determinazione dei solidi sospesi totali (SST) e volatili (SSV);
- b) Surnatante: determinazione di solidi sospesi totali (SST), contenuto di azoto totale (filtrato e tal quale), contenuto di fosforo totale (filtrato e tal quale) ed eventuali parametri specifici.

Particolare importanza riveste, infine, la fase di elaborazione dei dati.

La metodologia proposta prevede tre distinti livelli di elaborazione:

- a) Bilanci di massa;
- b) Analisi dei parametri di processo;
- c) Valutazioni economiche.

Ulteriori valutazioni, quale ad esempio l’affidabilità, richiedono funzionamenti per periodi prolungati, quindi esulano dal campo di

applicazione di questa tipologia di prove. Il bilancio di massa è essenziale per verificare le prestazioni della macchina. I flussi in ingresso sono costituiti dal fango da trattare, dal condizionante e dall'eventuale acqua di rete. I flussi in uscita sono costituiti dal fango disidratato e dal surnatante. La misura sperimentale di tutti questi flussi di massa e idraulici, utile per chiudere il bilancio, non è sempre, però, possibile. In particolare, può risultare complesso quantificare la portata del surnatante (mentre è agevole verificarne le caratteristiche qualitative) e, talvolta, il quantitativo di fango disidratato (a meno che non si riesca a raccogliere in un cassone unicamente il fango prodotto durante il funzionamento a regime della macchina, avendo cioè cura di escludere il fango prodotto durante la fase di messa a punto che precede il periodo di prova vero e proprio). La mancanza di questi due dati non impedisce tuttavia il calcolo del bilancio di massa, se si conoscono le caratteristiche quali-quantitative dei flussi in ingresso e se è noto il contenuto di solidi dei flussi uscenti. Dal bilancio di massa totale e dal bilancio di massa dei solidi risulta infatti un sistema in due equazioni e due incognite (appunto le quantità di surnatante e di fango disidratato) facilmente risolvibile (fig. 4)

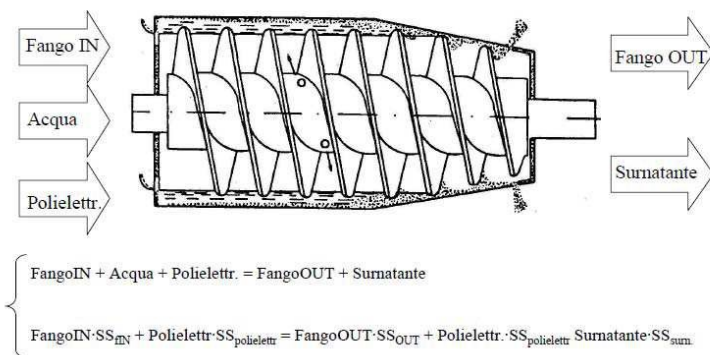


fig. 4. Schema di bilancio di massa effettuato su una centrifuga.

I dati raccolti consentono il calcolo dei parametri di processo, la cui definizione appare utile per le valutazioni economiche e per verificare la consistenza dei dati sperimentali.

In particolare, risulta importante la definizione dei seguenti parametri:

- a) Consumo di energia elettrica (E.E.): rappresenta l'energia elettrica consumata dalla macchina per metro cubo di fango trattato [kWh/m^3];
- b) Consumo di condizionante (*Pol*): rappresenta il dosaggio del condizionante per metro cubo di fango trattato [kg/m^3];

- c) Consumo di acqua (Q_{H2O}): rappresenta la portata di acqua consumata dalla macchina, in rapporto alla portata di fango trattato [%];
- d) Fango trattato (Q_{fango}): rappresenta la portata di fango in ingresso alla macchina [m^3/h];
- e) Indice di cattura dei solidi (η): rappresenta il rendimento di disidratazione, inteso come rapporto tra la massa di sostanza secca nel fango disidratato rispetto a quella in ingresso [adimensionale].

Le principali voci che vanno, invece a determinare il costo totale di trattamento sono elencate di seguito:

- a) Costo unitario dell'energia elettrica ($c.u.E.E$): rappresenta il costo per ogni kWh utilizzato [€/kwh];
- b) Costo unitario del condizionante ($c.u.poli$): rappresenta il costo per ogni kg di condizionante utilizzato [€/kg];
- c) Costo unitario dell'acqua ($c.u.H2O$): rappresenta il costo per ogni m^3 di acqua utilizzata [€/ m^3];
- d) Costo di investimento (I): rappresenta il fondo necessario per l'acquisto della macchina [€];
- e) Costo del personale ($c.u.pers.$): rappresenta il costo annuale del personale operante sulla macchina [€/y];
- f) Costo unitario di smaltimento del fango ($c.u.fango$): rappresenta il costo per smaltire una tonnellata di fango disidratato [€/t];
- g) Flusso di massa in uscita con il fango disidratato dalla macchina (D), espresso in [$t_{fango\ disidratato} / m^3_{fango\ trattato}$];
- h) Carico di BOD (BOD): rappresenta il carico di BOD del surnatante [$kgBOD / m^3_{fango\ trattato}$];
- i) Carico di azoto (N): rappresenta il carico di azoto del surnatante [$kgN / m^3_{fango\ trattato}$];
- j) Carico di azoto assimilato (N_{ass}): rappresenta il carico di azoto assimilato dai fanghi attivi [$kgN / m^3_{fango\ trattato}$];
- k) Consumo di energia elettrica per la fornitura di ossigeno ($c.u.O2$): rappresenta il costo relativo al consumo di energia elettrica per la fornitura di 1 kg di ossigeno;
- l) Produzione di fango specifica (Y_{obs});
- m) Contenuto di sostanza secca del fango in ingresso (ST_{IN}) ed in uscita (ST_{OUT}) dalla macchina;
- n) Contenuto di solidi nel surnatante (ST_{CENTR}): rappresenta il contenuto di solidi totali nel surnatante;

o) Flusso di massa in uscita col surnatante (C).

I parametri quali D , BOD , N e C non sono determinati direttamente ma derivano dal calcolo del bilancio di massa.

Le tecniche di riduzione della produzione dei fanghi possono essere considerate un intervento “preventivo” per contenere i costi di smaltimento.

Più in generale, in questo contesto possono essere prese in considerazione anche quelle tecniche che permettono di migliorare la qualità dei fanghi (es. riduzione del contenuto di metalli pesanti), con ciò consentendo, ad esempio, il riutilizzo agronomico. Esistono sistemi consolidati e sistemi non convenzionali, ovvero ancora in fase di studio, che possono essere applicati alla linea acque o alla linea fanghi. Tali tecniche possono interessare i comparti biologico/fisici ed essere esse stesse di tipo biologico o chimico/fisico.

La scelta della tecnologia più appropriata deve essere effettuata tenendo conto di numerosi fattori, di tipo prettamente tecnico e di carattere economico, valutando attentamente vantaggi e svantaggi che possono derivare dalla loro applicazione, sia diretti (ovvero relativi alla produzione dei fanghi) sia indiretti (ovvero che vanno ad interessare altri aspetti e/o altre fasi dell’impianto).

Di seguito, si sono suddivisi gli interventi adottabili sulla linea acque da quelli applicabili alla linea fanghi.

Fra le fasi di trattamento chimico-fisico/meccanico di un impianto di depurazione che maggiormente possono influire sulla produzione di fango, si è ritenuto rilevante focalizzare l’attenzione sul dosaggio di reattivi chimici flocculanti (con vari obiettivi) o carbone attivo e sul comparto di microgrigliatura. I reattivi chimici con funzione coagulante/flocculante possono essere utilizzati per diverse ragioni, ad esempio per far fronte a sovraccarichi (dosaggio in fase primaria), per migliorare la sedimentabilità del fango secondario, per rimuovere il fosforo. La scelta dei reattivi e la definizione delle condizioni di trattamento vanno condotte attentamente, considerando la consistenza (peso e volume) dei fiocchi che si formano, da valutare in funzione delle condizioni idrauliche (velocità ascensionali) effettive.

Il dosaggio dei reattivi, pur determinando i vantaggi descritti in precedenza, determina un aumento della produzione di fango non indifferente. In generale le produzioni aggiuntive di fango “chimico”

Possibili interventi per la minimizzazione della produzione dei fanghi

Interventi sulla linea acque.

Interventi sui trattamenti chimico-fisici e meccanici

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

variano dal 20% del totale al 120% in funzione non solo del dosaggio dei reagenti ma anche dell'alcalinità dell'acqua (Colombo-83° edizione, 2003).

Anche nel caso di *dosaggio di carbone attivo in polvere* (direttamente nella fase biologica ed eventualmente anche a livello dei pre-trattamenti) è opportuno tenere conto dei riflessi di diverso segno sulla produzione dei fanghi (incremento per effetto della presenza del carbone stesso, diminuzione per effetto dell'adsorbimento di composti organici biodegradabili, aumento per effetto dell'incremento dell'attività biologica a seguito dell'eliminazione di sostanze inibenti, ecc.).

Con l'adozione di *microgriglie finissime* la capacità di rimozione dei solidi sospesi può raggiungere il 5-15% in funzione delle caratteristiche del liquame. Ciò può portare a una proporzionale riduzione della produzione di fango, con un incremento, però, del materiale grigliato fino al 60% (2-11 kg grigliato/ab anno) rispetto all'utilizzo di griglie fini (2-4 kg grigliato/ab anno) (Masotti, 1996).

**Interventi sulla linea
acque.
Interventi sul
comparto biologico**

Tra i principali fattori che, notoriamente, influenzano la produzione del fango biologico vanno citati l'età del fango e la disponibilità di ossigeno disciolto. Chiaramente, la definizione dei valori “corretti” di questi parametri nella progettazione degli impianti deve tener conto in primis delle esigenze di processo (es. nitrificazione) e degli aspetti economici. Gli impianti ad aerazione estesa trovano la loro origine proprio nella necessità di semplificare la linea fanghi (per quanto concerne il comparto di stabilizzazione). Nella gestione, invece, i vincoli principali sono costituiti dai limiti strutturali dell'impianto (volumi dei reattori, potenzialità del sistema di fornitura dell'ossigeno, possibili problemi di sedimentabilità del fango (*pinpoint*) ecc.). Le tecnologie non convenzionali proposte per ridurre la produzione di fango di supero in un impianto di depurazione possono essere classificate in due principali categorie:

- a) Metodi fisico/chimici;
- b) Metodi biologici.

All'interno di questi due raggruppamenti esistono sia metodi che, per quanto innovativi, contano già alcune applicazioni a scala reale, sia metodi di recente introduzione che sono stati studiati finora solo a scala di laboratorio o pilota.

I trattamenti chimici offrono diversi vantaggi, tra cui una facile impostazione del processo, una stabile efficienza, parametri gestionali

flessibili e facilmente modificabili in funzione delle esigenze. Tra gli aspetti che ne limitano l'applicabilità a grande scala una delle voci principali è costituita dai costi operativi per l'acquisto delle apparecchiature e soprattutto dei reattivi chimici che possono essere elevati. Tali costi di investimento e di gestione devono essere naturalmente valutati in funzione del risparmio ottenibile in seguito alla riduzione della quantità di fanghi da trattare e da avviare allo smaltimento finale. Alcuni trattamenti sono applicati direttamente nel reattore a fanghi attivi, altri vengono invece applicati sulla linea di ricircolo dei fanghi o su un'aliquota di questa.

I metodi di tipo *biologico* sono applicati allo scopo di intervenire sul metabolismo cellulare di mantenimento e sui meccanismi di respirazione endogena e di lisi cellulare. Esiste un consumo di substrato relativo al solo metabolismo di mantenimento, cioè che non si traduce in sintesi di nuova biomassa, ma solo in produzione di energia. Il metabolismo di mantenimento risulta legato ai meccanismi di lisi cellulare, e la produzione di fango è inversamente correlata a questo tipo di attività. Per ridurre i volumi di fango di supero si cerca quindi di disturbare l'equilibrio fra anabolismo, cioè sintesi cellulare, e catabolismo o produzione di energia, a favore delle reazioni cataboliche.

Ossidazione chimica del fango di ricircolo. Tale processo prevede il trattamento del fango di ricircolo con un ossidante (es. ozono o cloro: Kamiya e Hirotsuji, 1998); recentemente, sono stati anche proposti sistemi con ossidazione del fango di ricircolo con reagente di Fenton quali: Fenton a caldo (Paul e Sahli, 2006), photo-Fenton e solar photo-Fenton (Tokumura et al., 2009). Mediante ossidazione chimica una parte del fango attivo viene mineralizzata, mentre un'altra parte viene solubilizzata in composti organici biodegradabili che possono essere ossidati nel reattore a fanghi attivi, infatti l'utilizzo di ozono o di cloro (due forti ossidanti chimici) induce una significativa lisi cellulare. In generale, nonostante si abbia un elevato rilascio di componenti solubili in seguito ad ozonizzazione, negli impianti che implementano tale trattamento le concentrazioni di composti carboniosi nell'effluente risultano solo di poco superiori rispetto ai valori di impianti convenzionali a fanghi attivi. Il motivo risiede nell'elevata biodegradabilità dei composti prodotti, il 50% dei quali è di tipo rapidamente biodegradabile (Deleris et al., 2000). Sembra inoltre che i fanghi sottoposti ad ozonizzazione siano caratterizzati da una migliore sedimentabilità (Kamiya e Hirotsuji, 1998). Tra gli studi più

recenti si cita quello di Boehler e Siegrist (2004). L'ozonizzazione del fango può essere applicata sia sul fango prelevato direttamente dalla vasca di ossidazione che sul fango di ricircolo. Un giusto bilancio tra l'efficienza di riduzione del fango ed i costi associati all'utilizzo di ozono individua nel range $0,03\pm 0,05$ gO₃/gSSTprodotto (Chu et altri, 2009; Foladori et altri, 2010) il dosaggio ottimale anche se, ad oggi, tale soluzione risulta convenientemente applicabile agli impianti di grandi dimensioni o nelle zone in cui i costi associati allo smaltimento dei fanghi sono molto elevati. Altrettanto conveniente risulta l'applicazione di tale tecnologia nel caso in cui vi siano problemi operativi quali foaming, bulking o presenza di batteri filamentosi.

Come accennato in precedenza, oltre all'ozono sono utilizzabili altri ossidanti quali, cloro e perossido di idrogeno (H₂O₂). Il vantaggio nell'utilizzo di questi ossidanti, rispetto all'ozono, risiede nei minori costi legati alle apparecchiature da utilizzare ed al personale che necessita una minore specializzazione.

Il cloro, se confrontato con l'ozono, è un ossidante debole, pertanto, richiede elevati dosaggi, ma, nonostante ciò, può risultare un trattamento economicamente vantaggioso. La diffusione della clorazione del fango alla scala reale è limitata dalla formazione di sottoprodotti dannosi quali i trialometani (THM) e dal problema che si riscontra una concentrazione di COD solubile nell'effluente all'uscita dal processo biologico maggiore rispetto a quella di un convenzionale fango attivo in cui non viene effettuato tale trattamento. Inoltre, il dosaggio di cloro può portare ad un peggioramento anche delle caratteristiche di sedimentabilità del fango.

Esempi di processi commerciali sono quelli proposti da Lyso™ (Rivoira-Praxair), Biolysis® O (Ondeo-Degremont) e Aspal™ Sludge (Air Liquide); Bioleader™ (Kurita Water Industries Ltd) e WEDECO (Umwelttechnologie)

Trattamento termo-chimico del fango di ricircolo. Il trattamento termico abbinato a quello chimico (variazione del pH) permette di ottenere l'idrolisi dei componenti del fango, sia per quanto riguarda la lisi cellulare che per la degradazione di sostanze organiche. Quando si desidera agire sulla linea liquami, tale trattamento si applica in un reattore di limitate dimensioni disposto sulla linea di ricircolo dei fanghi. Può essere applicato anche sui fanghi di supero estratti dal sedimentatore finale, come pretrattamento prima della digestione anaerobica o della disidratazione meccanica.

Per effettuare l'idrolisi termo-chimica possono essere utilizzati sia reagenti acidi (HCl o H₂SO₄) sia reagenti alcalini. Questi ultimi risultano essere quelli maggiormente efficaci e l'idrossido di sodio risulta il reattivo chimico più utilizzato e più efficiente nella lisi cellulare (Rocher et altri 2001; Cassini et altri 2006; Foladori et altri 2010).

Per la verifica dell'applicabilità a scala reale è necessario considerare gli aspetti energetici e la richiesta di reagenti alcalini. Vanno considerate anche le limitazioni nella scelta dei materiali costruttivi nel circuito di ricircolo al fine di evitare problemi di corrosione (Liu, 2003).

Ad oggi il trattamento termo-chimico del fango del fango di ricircolo non risulta molto applicato alla scala reale e anche i risultati in letteratura non sono particolarmente incoraggianti. Il motivo risiede nel bilancio economico estremamente penalizzante a causa dell'elevato fabbisogno energetico legato al riscaldamento del fango che è poco concentrato ed il conseguente elevato consumo di reagenti (Foladori et altri 2010).

Trattamento anaerobico/anossico del fango di ricircolo. Il trattamento OSA "Oxic-Settling-Anaerobic" è una variante della tecnologia convenzionale del processo a fanghi attivi, ottenuta inserendo nel ricircolo un reattore anaerobico. Tale processo è costituito da fasi di aerobiosi intervallate a fasi di anaerobiosi corrispondenti ad un'alternanza rispettivamente, di fasi di "feasting" (ricca di nutrienti) e di "fasting" (povera di substrato). Quando i microorganismi ritornano nel reattore aerobico a fanghi attivi ricco di substrato organico, devono necessariamente ricostruire le loro riserve di energia, prima di sintetizzare nuova biomassa, in quanto la sintesi cellulare non può procedere senza un minimo quantitativo di ATP. Il consumo di substrato si traduce perciò in metabolismo catabolico per soddisfare la richiesta di energia da parte dei microorganismi. L'alternarsi di condizioni aerobiche e anaerobiche tende quindi a dissociare catabolismo da anabolismo e stimola l'attività catabolica. La produzione di fango risulta quindi minimizzata (Liu e Tay, 2001). Chen et altri (2003) evidenziano come a valori di ORP < -200 mV risultino meccanismi importanti sia il decadimento sia la lisi cellulare. Parametri chiave del processo sono dunque il potenziale di ossidoriduzione e il tempo di permanenza (dell'ordine dei giorni). Sembra utile sottolineare che l'utilizzo del trattamento OSA permette, non

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

solo di minimizzare la produzione dei fanghi, ma anche migliorare la sedimentabilità del fango (Chudoba e Capdeville, 1991; Chudoba et al. 1991) e ridurre la crescita dei batteri filamentosi (Liu e Tay, 2001).

Tra i processi commerciali si cita il sistema Cannibal[®] della Siemens. In alternativa al processo anaerobico si può inserire un reattore anossico; tale trattamento viene definito come "*Oxic-Settling-Anoxic*" (Saby et al., 2003).

Processi a cicli alternati. Sono processi che nascono per la rimozione dei nutrienti ma che si è visto essere efficaci anche per minimizzare la produzione dei fanghi di depurazione. Questi processi devono il loro nome alla ciclicità con cui viene fornita e sospesa l'aerazione nella vasca di ossidazione, andando ad alternare, quindi, fasi aerobiche con fasi anossiche. Recentemente, è stato messo a punto (Battistoni et al. 2002; Battistoni et al. 2008) un sistema di controllo automatico della fornitura di ossigeno in vasca di ossidazione; il vantaggio intrinseco di tale soluzione è che non rende necessaria la realizzazione di ulteriori reattori in impianto. In questo caso, la durata delle fasi aerobiche/anossiche viene stabilita in base ai valori misurati di ossigeno disciolto e potenziale redox in vasca, che vengono poi confrontati con valori presenti nel database del sistema.

Questo processo è stato già applicato in impianti alla scala reale ed è protetto da brevetto (Cicli Alternati in linea Acque[®] - Ingegneria Ambiente).

Trattamento termofilo aerobico. Questo sistema consiste nel trattare un flusso di fango prelevato dal reattore biologico mediante processo aerobico termofilo per poi reimmetterlo nella vasca a fanghi attivi. Il fango prelevato dal bacino viene staccato, ispessito e portato alla temperatura di processo (50÷80 °C) mediante uno scambiatore fango/fango. Il reattore termofilo aerobico è dotato di miscelatore. L'alternanza delle condizioni mesofile e termofile sembrerebbe favorire i processi di idrolisi della sostanza organica e un aumento dei fabbisogni energetici dei batteri mesofili per il loro mantenimento e la loro ricostituzione. Inoltre, secondo Song e Hu (2006), alcuni batteri termofili produrrebbero enzimi responsabili della lisi cellulare di batteri mesofili. Il trattamento termofilo aerobico porta alla solubilizzazione del 30÷40% di SSV e genera un lisato ad elevata resistenza che deve essere ricircolato nel sistema a fanghi attivi. È disponibile il processo commerciale Biolysis[®] E (Ondeo-Degrémont) e

STE PROCESS (acronimo di *Solubilisation by Thermophilic Enzyme*).

Processo mediante “metabolic uncoupler”: Il metabolismo cellulare è la somma di trasformazioni biochimiche che coinvolgono reazioni accoppiate cataboliche (reazioni a funzione energetica) ed anaboliche (reazioni di sintesi). La produzione di nuovo materiale cellulare, e quindi il coefficiente di crescita, è direttamente proporzionale alla quantità di energia prodotta nella fase catabolica. In presenza di determinate sostanze, dette “disaccoppianti metabolici” (*metabolic uncoupler*), l’energia ricavata dall’ossidazione della sostanza organica viene dissipata sotto forma di calore anziché venire immagazzinata come ATP. In base a questo meccanismo, quindi, in colture microbiche contenenti disaccoppianti metabolici (Zubay, 1998) la crescita viene inibita senza che venga inibita la respirazione. In pratica si osserva un netto aumento di consumo di substrato che non corrisponde ad un aumento proporzionale di biomassa. Tra i composti utilizzati per ridurre la produzione di fango possiamo citare i seguenti: paranitrofenolo (pNP); clorofenolo; 3,3’,4’,5-etraclorosalicilanilide; 2,4,5-triclorofenolo, aminofenolo, etc. (Okei e Stensel, 1993; Low e Chase, 1998; Mayhew e Stephenson, 1998; Chen et altri 1999; Liu, 2000; Low et altri 2000; Xie, 2002).

Questa recente tecnica è stata sperimentata fino ad ora solo a scala di laboratorio e spesso solo su colture pure. Inoltre, ben poco è noto sugli effetti nel lungo periodo in cui l’acclimatamento può giocare un ruolo importante, o circa le condizioni ottimali necessarie al processo o sui potenziali effetti negativi causati da questi composti. *Sviluppo di protozoi/metazoi per la predazione batterica*. Il sistema “fango attivo” è costituito principalmente da batteri, protozoi e da metazoi. I protozoi possono essere suddivisi in: natanti, liberi di fondo e sessili. I metazoi normalmente sono costituiti da rotiferi e nematodi. È noto come il ruolo dei protozoi e metazoi all’interno dell’ecosistema fanghi attivi sia quello di predatori dei batteri e come essi assolvano ad una funzione di controllo della crescita batterica stessa. Lo sviluppo di predatori (protozoi e metazoi) nei processi a fanghi attivi riduce la presenza di batteri dispersi e quindi la produzione di fango.

La predazione batterica può essere condotta in sistemi a due fasi: la prima (chemostato) con un breve tempo di ritenzione idraulico (HRT), al fine di favorire lo sviluppo dei batteri a rapida crescita; la seconda con un lungo tempo di permanenza del fango al fine di favorire la

crescita dei predatori (generalmente avviene nei reattori a fanghi attivi, nei sistemi a biofilm o MBR). In pratica, questi sistemi a due stadi aumentano di molto il volume del reattore biologico ed i suoi costi operativi, pertanto, tale soluzione non è applicata agli impianti che trattano acque reflue urbane se non introducendo un apposito reattore (Foladori et al. 2010).

La principale criticità nell'utilizzo di metazoi e protozoi risiede nella difficoltà di controllarne la crescita e la riproduzione nel sistema biologico. Questo processo necessita di ulteriori approfondimenti vista la difficile applicabilità alla scala reale (Liu, 2003).

Utilizzo di altri accettori di elettroni come sostituti dell'ossigeno. Questa tecnica si basa sul principio di diminuire la resa di crescita cellulare, per esempio mediante sostituti dell'ossigeno, quali i nitrati, che forniscono un coefficiente di crescita cellulare eterotrofo specifico più basso rispetto a quello ottenibile in presenza di ossigeno.

Ultrasonificazione. Gli ultrasuoni sono in grado di disgregare i fiocchi di fango favorendo la lisi del materiale particolato, per effetto di meccanismi di tipo sia meccanico sia dinamico. Un effetto apprezzabile si raggiunge però con input di energia significativi (Müller e Strünckmann, 2006; Zhang et al. 2007). Il processo di disintegrazione con ultrasuoni può essere condotto sul ricircolo del fango sia in continuo che in batch, in questo caso deve essere introdotto un reattore di contatto al cui interno sono collocati i sonotrodi. La biodegradazione del lisato è completa ed avviene nella vasca di ossidazione biologica. A differenza della disintegrazione meccanica, i sistemi ad ultrasuoni sono molto energivori. Al fine di ridurre i consumi energetici, potrebbe essere introdotto a monte dell'unità di trattamento ad ultrasuoni un sistema di pre-ispessimento in modo da ottenere un fango con un'elevata concentrazione di solidi (Foladori et al. 2010).

L'applicazione nei sistemi a fanghi attivi è rara, a causa del costo delle apparecchiature, mentre trova maggiore applicazione in linea fanghi.

Per questa tecnica, processi commerciali sono proposti da Siemens, Eimco (Sonolyzer®), Sonico (Sonix®) e Ladurner.

Sistemi MBR (Membrane Biological Reactors). Nei sistemi a membrana la separazione del fango dall'effluente avviene in moduli a membrana ad elevata efficienza anziché nei tradizionali sedimentatori secondari. La produzione attesa di fango in un sistema MBR è solitamente più bassa rispetto ai sistemi a fanghi attivi tradizionali, a causa dell'elevata concentrazione di biomassa in vasca ($7 \div 20$

gSST/L), un basso rapporto F/M (Food/Micorganism) ed un'età del fango elevata. Queste condizioni non favoriscono la crescita delle cellule in quanto causano un aumento della richiesta di energia necessaria al mantenimento. La fattibilità del processo MBR con completa ritenzione del fango è stata dimostrata in numerosi studi (Yamamoto et altri 1989; Benitez et altri 1995; Pollice et altri 2008) così come l'elevata efficienza e la bassa produzione di fango. Tuttavia, elevate concentrazioni di solidi sospesi totali in vasca possono causare effetti, per esempio, di fouling delle membrane, con conseguenti numerose operazioni di pulizia delle membrane, limitazioni nel trasferimento di ossigeno (Muller et altri 1998; Lübbecke et altri 1995; Côté et altri, 1998; Rosenberger et altri, 2000) e riduzione dell'attività biologica del fango (a causa del basso ricambio della biomassa in vasca).

Diversi autori stanno anche investigando la possibilità di operare sia con lunghi che relativamente brevi tempi di permanenza del fango in vasca in modo da raggiungere la crescita netta nulla (Yamamoto et altri 1989; Chiemchaisri et altri 1992; Benitez et altri 1995; Muller et altri 1998; Wagner e Rosenwinkel, 2000; Rosenberger et altri, 2002; Pollice et altri, 2004; Laera et altri, 2005). La riduzione del fango di supero sembrerebbe dovuto allo sviluppo di predatori in vasca, ma le opinioni in merito sono discordanti (Foladori et altri 2010).

Va sottolineato come appaia molto lontana la possibilità di operare senza l'estrazione dei fanghi in quanto nel fango si accumulano sempre una certa quantità di solidi inerti che devono, comunque, essere allontanati dalla vasca al fine di impedirne il loro accumulo in vasca (volume morto).

Ultimamente i sistemi MBR sono stati integrati con tecniche di disintegrazione (trattamenti alcalini, ozonizzazione, disintegrazione con ultrasuoni) al fine di aumentare il tasso di decadimento della biomassa, mantenendo una concentrazione relativamente bassa di SST nel sistema MBR.

Fango granulare. I sistemi a fango granulare, sistemi basati sulla auto immobilizzazione dei microrganismi che trattano i reflui, consentono di ottenere alcuni vantaggi se confrontati coi fanghi attivi convenzionali: elevate concentrazioni di biomassa nel reattore (15÷60 gSST/L); carichi organici trattabili elevati (fino a 10 kgCOD/(m³•d)) e bassissime produzioni di fango.

Ad oggi, i meccanismi che descrivono la formazione dei granuli non sono stati pienamente compresi. I granuli presentano una struttura

microbica resistente e una buona sedimentabilità, generalmente. Nei sistemi granulari si è osservata una produzione specifica di fango nell'ordine di $0,07 \div 0,15$ kgSST/kgCOD_{rimosso} (rispetto a $0,27 \div 0,35$ kgSST/kgCOD_{rimosso} dei tradizionali fanghi attivi). La bassa produzione di fango è probabilmente dovuta al metabolismo endogeno e agli elevati valori di mantenimento. La denitrificazione si verifica nella parte interna dei granuli e l'energia disponibile per l'anabolismo è molto poca, il che comporta una crescita batterica limitata.

Un esempio di impianto basato sul fango granulare è stato messo appunto dal CNR ed è noto come sistema SBBGR (Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor) (Ramadori et altri, 2006; Di Iaconi et altri, 2007).

I risultati sperimentali ottenuti da Di Iaconi ed i suoi collaboratori hanno mostrato che, l'impianto (alimentato con l'effluente in uscita dal sedimentatore primario di un impianto di trattamento delle acque reflue urbane) ha presentato elevate rese di rimozione del COD, solidi sospesi totali e azoto, tutti maggiori dell'80%) consentendo il rispetto dei limiti allo scarico previsti dalla normativa vigente. Il processo è stato caratterizzato da una produzione di fanghi molto bassa ($0,12-0,14$ kgSST/kgCOD_{rimosso}) ascrivibile all'elevata età del fango nel sistema (> 120 d) (Di Iaconi et altri 2010). Un vantaggio non trascurabile di tale configurazione è la richiesta di spazio molto limitata, se confrontato con un sistema a fanghi attivi convenzionale, in quanto il sistema SBBGR non richiede la presenza del decantatore secondario (oltre ad un volume di ossidazione decisamente più contenuto).

Trattamenti mediante campo elettrico ad impulsi. Le tecnologie a campi elettrici ad impulsi (in inglese PEF - Pulsed Electric Field) sono ampiamente utilizzate in biologia, medicina e nel settore alimentare da anni. Recentemente, tale tecnologia è stata proposta per il trattamento del fango, in quanto provoca la rottura delle cellule microbiche. Il trattamento mediante campo elettrico ad impulsi del fango fu applicato per la prima volta da Heinz (2007) sul ricircolo del fango in un impianto a fanghi attivi.

Un apparecchio PEF scarica un impulso elettrico ad alta tensione nel fango (>20 kV) per migliaia di volte al secondo. Il forte campo elettrico attacca i fosfolipidi e i peptidoglicani – i principali costituenti della membrana cellulare e delle pareti cellulari – che presentano carica negativa, quindi, sensibili all'azione del campo elettrico. La conseguente apertura dei pori nelle membrane e delle pareti cellulari causa la rottura delle cellule e la loro lisi. Così come la lisi cellulare,

l'applicazione di un campo elettrico rompe le molecole di grandi dimensioni riducendo così le molecole organiche complesse a forme più semplici. Vista la potenza del campo elettrico (che pulsa ad intermittenza) il tempo di trattamento è nell'ordine dei millisecondi.

Esistono anche configurazioni in cui è previsto uno scambiatore di calore a monte del processo di PEF (si riscalda il fango finanche sopra i 35 °C) al fine di aumentare l'effetto di rottura delle cellule. Il calore necessario al pre- riscaldamento del fango è recuperabile dal fango stesso in quanto l'applicazione del campo elettrico provoca un aumento della temperatura nel fango trattato di circa 20 °C.

La riduzione di fango (espressa come percentuale sui SST) ottenibile è compresa tra il 27÷45% a seconda del tipo di fango, applicando un'energia specifica di 100.000 kJ/m³.

Disintegrazione meccanica. La disintegrazione meccanica è un processo volto ad aumentare la solubilizzazione del fango. La solubilizzazione è ottenuta mediante la distruzione delle cellule e la disaggregazione dei fiocchi biologici. In generale, a basse intensità si ha la sola disintegrazione dei fiocchi, viceversa, ad elevati valori di energia applicati si ha la distruzione delle cellule del fango. Il lisato ottenuto dalla distruzione del fango viene ricircolato in testa all'impianto a fanghi attivi. Il trattamento di disintegrazione meccanica è integrato nel processo a fanghi attivi attraverso un'apposita unità di trattamento. I sistemi proposti per la disintegrazione meccanica sono: disaggregazione meccanica con sistema di omogeneizzazione ad alta pressione (Camacho et altri 2002); sistemi di disintegrazione rotore-statore; getti ad alta pressione e collisione; omogeneizzatori ad alta pressione e *stirred ball mills*. I sistemi differiscono tra di loro a seconda della configurazione, delle condizioni operative, livello di solubilizzazione del fango e consumo d'energia.

Nei casi in cui è applicata poca energia la disaggregazione del fiocco risulta esser moderata e questo potrebbe causare un peggioramento delle caratteristiche di sedimentabilità del fango, ma non in tutte le tecniche. Nel caso di fango con un'elevata presenza di batteri filamentosi (fango in cui si verificano fenomeni di bulking e foaming) la sedimentabilità potrebbe migliorare, questo a causa della separazione delle strutture e dei legami tra i filamenti.

Per questa tecnica, processi commerciali sono: Lysate e Baker. Trattamento termico del fango. L'applicazione di un trattamento termico del fango (attraverso il riscaldamento dello stesso) causa la

disaggregazione dei fiocchi di fango, un elevato livello di solubilizzazione, la lisi cellulare e il rilascio di acqua intracellulare. Il parametro principale del trattamento termico è la temperatura, specialmente se sono utilizzate temperature elevate ($>100\text{ }^{\circ}\text{C}$) e non tanto la durata del trattamento. Diversi studi confermano che la maggior solubilizzazione del fango si ottiene a circa $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ e che temperature maggiori non causano un aumento significativo della biodegradabilità del fango che invece potrebbe diminuire a causa della formazione di composti refrattari legati alle reazioni di Maillard. Tuttavia, anche i trattamenti termici a temperature inferiori ai $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, integrati in un impianto a fanghi attivi, causano una significativa riduzione nella produzione di fango, direttamente correlata con un'immediata diminuzione dell'attività biologica ed un aumento dell'energia necessaria al mantenimento. Il riscaldamento del fango avviene mediante vapore e/o attraverso scambiatori di calore prima di entrare nel reattore di contatto; il lisato viene ricircolato in testa all'impianto. L'ispessimento a monte del trattamento termico è preferibile, in quanto avere un fango con un elevato tenore di solidi consente di ridurre i consumi energetici ed il volume del reattore. Il trattamento termico può essere adottato sia in linea acque che in linea fanghi anche se, quest'ultima soluzione, è da preferirsi in quanto si opera con un fango avente un maggior contenuto di solidi (fango generalmente già ispessito). La limitazione maggiore per la diffusione di tale processo risiede negli elevati costi associati al riscaldamento del fango secondario, caratterizzato da una bassa concentrazione di solidi. Una possibile soluzione, è l'applicazione di trattamenti termici a “bassa temperatura” ($< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), al fine di ridurre l'energia necessaria al riscaldamento e alla necessità di operare a pressioni inferiori. È stato dimostrato, infatti, che trattare il fango con temperature $< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ in un sistema a fanghi attivi porta comunque ad una riduzione significativa del fango in eccesso.

Ad oggi, non risultano applicazioni alla scala reale di tale tecnologia.

Altre tecniche. Tra le altre tecniche riportate in letteratura per la riduzione della produzione di fango di supero, molte delle quali sono in fase di studio a livello di laboratorio, si citano le seguenti:

- a) Impiego di organismi produttori di biopolimeri (Chua e Yu, 1999);
- b) Sistema SBR aerobico con unità filtrante a maglie sommersa (Wang et altri, 2006).

Per quanto riguarda le tecniche convenzionali (ispessimento, disidratazione meccanica ed essiccamento termico), si riportano di seguito alcune considerazioni in merito ai recenti sviluppi tecnologici.

Ispessimento. Le più recenti innovazioni tecnologiche riguardano l'impiego dell'ispessimento dinamico, adottando macchine derivate da quelle originariamente progettate per la disidratazione meccanica. Tra gli esempi che possono essere citati si riportano i seguenti (Lotito, 2000): centrifuga decantatrice, tavola gravitazionale, setacci cilindrici.

Disidratazione meccanica. Gli sviluppi tecnologici che hanno interessato, negli ultimi anni, i sistemi di disidratazione meccanica dei fanghi sono stati rivolti al conseguimento dei seguenti obiettivi (Lotito, 2000):

- a) Lo sviluppo di apparecchiature funzionanti in continuo e, nello stesso tempo, capaci di ottenere livelli di disidratazione caratteristici delle filtropresse a camere;
- b) Il miglioramento dei rendimenti di disidratazione raggiungibili con macchine centrifughe: le centrifughe di “nuova generazione” (ad alta concentrazione) consentono un incremento del tenore di secco rispetto a queste ultime di 5-8 punti percentuali;
- c) La messa a punto di apparecchiature in grado di ottenere elevate percentuali di secco grazie ad una particolare efficienza della fase di compressione finale (nuove nastropresse);
- d) L'impiego di condizionanti “perfezionati” che consentono di incrementare le rese di disidratazione e/o di ridurre l'impiego.

I dosaggi e i tipi di condizionanti da utilizzare dipendono, come noto, dal tipo di fango e dal tipo di macchina utilizzata. Va evidenziato che la tendenza attuale è quella di utilizzare i polielettroliti non solo nei processi di centrifugazione ma anche in quelli di filtropressatura in sostituzione dei reattivi più convenzionali (calce e sali di ferro/alluminio); ciò comporta un risparmio in termini di volume del fango da smaltire.

Per questa tecnica, processi commerciali sono: Lysate e Baker.

Essiccamento termico. Nell'ambito degli schemi convenzionali, l'indirizzo generale sembra essere quello di apportare migliorie, intervenendo su specifiche fasi del trattamento. In particolare,

Interventi sulla linea fanghi.

Interventi di tipo chimico-fisico

vengono adottati nuovi accorgimenti per migliorare il sistema di movimentazione dei fanghi e si diffondono sempre più i sistemi che prevedono il ricircolo dei gas esausti e il recupero energetico, con il vantaggio di semplificare la linea di depurazione dell'aria (almeno per la fase di deodorizzazione) e ridurre i consumi di energia. Un altro obiettivo perseguito dai costruttori di impianti è quello di migliorare il contatto fango-mezzo riscaldante all'interno degli essiccatori (in particolare in quelli indiretti), attraverso particolari conformazioni degli organi interni.

Accanto ai sistemi tradizionali, recentemente, hanno acquisito interesse altri tipi di impianti, che lavorano a temperature più basse, potendo, in questo caso, sfruttare cascami di calore anche a temperature relativamente basse. Questi sistemi, definiti a “bassa temperatura” o a “media temperatura”, operano l'essiccamento mettendo in contatto l'aria calda (in questo caso il limite superiore è intorno a 140 °C) con il fango distribuito (con opportuni sistemi) su supporti mobili (nastri) o fissi (in acciaio o tele filtranti).

Tra i sistemi commerciali si citano quelli proposti da Ladurner, Andritz, Huber, Scolaro, Veolia Water, Siemens.

Infine, vengono proposti, da alcune Aziende costruttrici sistemi a riscaldamento solare: si tratta essenzialmente di “serre” con ventilazione forzata.

Tra i sistemi commerciali si cita quello proposto da Huber.

Per quanto riguarda interventi di tipo non convenzionale sulla linea fanghi, si riporta di seguito un elenco, con breve descrizione, di quelli recentemente proposti/applicati (a diversa scala).

Idrolisi termica e trattamento termo-chimico. L'idrolisi termica rappresenta una tecnica di riduzione dei fanghi conosciuta da tempo. Spesso è associata all'utilizzo di reattivi acidi che comportano però alcuni inconvenienti tra i quali problemi di corrosione, necessità di una post-neutralizzazione, solubilizzazione di metalli pesanti e fosfati. Un processo basato sull'idrolisi termo-acida del fango è il Krepro (Kemira Kemwater AB).

Il trattamento termico-alcalino può costituire un'alternativa al trattamento termo-acido permettendo di superare alcune limitazioni nell'applicazione di quest'ultimo.

Il trattamento termico in ambiente alcalino può essere applicato come pretrattamento prima della digestione anaerobica o integrato alla stessa (Saiki et al., 1999) o come unico trattamento sul fango ispessito, a monte della disidratazione meccanica (Neyens et al., 2003). L'azione

combinata dei reattivi alcalini e della temperatura comporta una maggiore idrolisi con conseguente riduzione dei solidi sospesi durante la digestione.

Recentemente, alcuni autori hanno proposto l'applicazione del processo termo-chimico ai sistemi MBR (Visvanathan et altri 2000; Do et altri 2009); Do et altri (2009) sottoponendo a trattamento termochimico (80 °C e pH=11) il fango di supero di un particolare sistema MBR (anossico-aerobico) hanno riscontrato una riduzione del fango di supero del 33%.

Sono anche disponibili sistemi di idrolisi termica che non fanno uso di reattivi chimici e che operano in condizioni non particolarmente drastiche (160÷170 °C, 8÷10 bar). Di questi processi esistono soluzioni commerciali che, recentemente, sembrano interessare una significativa quota di mercato (es. processo Cambi® di Sernagiotto-Siemens, eventualmente accoppiato con Digelis™ turbo di Degrémont; processo Biothelys di SIBA-Veolia). È stato anche verificato il trattamento termico (o termochimico) a monte della disidratazione meccanica, con buoni risultati operando a temperature superiori a 100 °C (Neyens et altri, 2003 a e b; Neyens et altri, 2004).

Ultrasonicazione. L'applicazione della sonicazione a basse frequenze (20÷40 kHz) per la riduzione dei fanghi è stata testata su diversi impianti a scala pilota ma anche a scala reale per il trattamento di fanghi primari e secondari (Kim et altri 2003; Grönroos et altri 2005; Braguglia et altri 2006; Khanal et altri 2007; Nickel and Neis, 2007; Show et altri, 2007; Feng et altri, 2009). Uno dei principali obiettivi dell'applicazione dei sistemi di sonicazione consiste nella possibilità di migliorare le rese della digestione anaerobica e quindi aumentare la produzione di biogas e diminuire il contenuto secco dei fanghi da smaltire (Bougrier et altri 2004). L'applicazione degli ultrasuoni genera forze meccaniche che provocano una riduzione della dimensione degli aggregati presenti nel fango: si ottiene così la conversione di sostanze organiche dalla forma particolata a quella solubile o colloidale. Si verifica quindi un aumento di COD rapidamente biodegradabile o rapidamente idrolizzabile a spese dei solidi sospesi. La maggiore disponibilità di sostanze rapidamente biodegradabili permette di ottenere una maggiore produzione di biogas e un migliore grado di stabilizzazione del fango. L'applicazione di questo processo in linea fanghi risulta maggiormente efficace (rispetto alla linea acque) in quanto si ha un maggior contenuto di solidi totali nel fango. L'applicazione degli ultrasuoni richiede un elevato

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

consumo di energia anche se questo svantaggio è compensato dalla facilità di installazione, la facilità di gestione e la compattezza del sistema. Per questa tecnica, processi commerciali sono proposti da Siemens, Eimco (Sonolyzer[®]), Sonico (Sonix[®]); Ladurner (VTA GSD).

Disgregazione meccanica. La disintegrazione meccanica del fango comporta un rilascio di sostanze organiche che possono essere facilmente biodegradate. Il fango trattato meccanicamente può quindi costituire un valido substrato per il processo di denitrificazione, migliorare la resa della digestione anaerobica o consentire il recupero di prodotti quali azoto e fosforo. In molti casi, è stato osservato che la formazione di schiume nel digestore anaerobico (causata dalla presenza di microrganismi filamentosi) può essere ridotta adottando la disgregazione meccanica come pre-trattamento (Foladori et altri 2010). Tra le varie tecniche disponibili, l'omogeneizzazione ad alta pressione (10-150 MPa) induce anche meccanismi derivanti da cavitazione, similmente a quanto si verifica nel trattamento a ultrasuoni (es. Zàbranskà et altri 2006). Ad oggi, sono disponibili pochi dati derivanti da esperienze su scala industriale. Alcune tecniche per la disgregazione del fango sono ancora oggetto di ricerche e sperimentazioni pertanto ulteriori risultati sono attesi nel prossimo futuro. In letteratura le principali tecnologie meccaniche studiate sono le centrifughe disgregatrici, i mulini a sfere, i sistemi rotore-statore ed i sistemi ad alta pressione. Per quanto riguarda le centrifughe disgregatrici, studi di letteratura (Zàbranskà et altri 2006) hanno evidenziato come in tre applicazioni su scala reale in configurazione di pre-trattamento del fango destinato alla digestione anaerobica, la produzione di biogas sia stata incrementata dal 15 al 26%. A titolo esemplificativo, tra i processi di disintegrazione meccanica commerciali disponibili, si citano il sistema Crown[®] della Biogest[®]; il Cellruptor o Rapid non-equilibrium decompression, RnD[®] process (Ecosolids) e il sistema MicroSludge[®] della Paradigm Environmental Technologies Inc. (Carrère et altri 2010). Quest'ultimo utilizza un omogeneizzatore ad alta pressione per disintegrare il fango, precedentemente sottoposto a trattamento alcalino, con idrossido di sodio fino a pH 9 o 10. Un processo commerciale basato su questo principio è il MicroSludge[®] della Paradigm Environmental Technologies Inc.

Ossidazione chimica. Tra i processi di ossidazione chimica vengono proposti l'ozonizzazione (preferibile quando la successiva digestione dei fanghi sia di tipo aerobico) e il trattamento Fenton (Cacho Rivero et altri 2005).

Il processo di ozonizzazione può trovare differenti collocazioni in linea fanghi, infatti, può essere posto sia a monte della digestione anaerobica sia sul ricircolo del digestore (Chu et altri 2009). Un altro ossidante impiegabile è il perossido di idrogeno (H_2O_2) anche se il suo utilizzo richiede, per una maggiore efficacia, che il fango venga preventivamente riscaldato. Diversi autori hanno applicato l'ossidazione chimica al fango di supero, con risultati interessanti, anche ai sistemi MBR; ad esempio, Song et altri (2003), utilizzando l'ozono come ossidante e sottoponendo il fango ad un'ossidazione combinata (reagente alcalino (NaOH) e ozono) (Oh et altri 2007). Wang e i suoi collaboratori hanno testato, a scala di laboratorio, l'efficacia di un trattamento basato sul riscaldamento del fango con microonde e ossidazione con H_2O_2 (Wang et altri 2009).

Anoxic Gas Flotation (AGF). Questo processo utilizza i gas anossici (ovvero senza ossigeno) per flottare, concentrare e reimmettere i batteri, gli enzimi, gli acidi organici, le proteine, ed il substrato non digerito nel reattore anaerobico. Ciò viene fatto al fine di accelerare e rendere completa la conversione dei fanghi in biogas. Tale trattamento permette di conseguire una diminuzione di solidi pari a circa il 37 % (Burke, 1997). Un brevetto che sfrutta un processo AGF modificato è il *ClearCycle™*.

Altre tecniche. Altre tecniche riportate in letteratura (per lo più ancora in fase di studio) sono: congelamento-scongelo del fango come trattamento di disidratazione finale (Chu et altri 2001; Montusiewicz et altri 2009); irraggiamento con radiazioni gamma (Etzel et altri, 1969; Mustapha e Forster, 1985; Müller, 2000).

Stabilizzazione anaerobica. La digestione anaerobica può essere mesofila, se avviene in un intervallo di temperatura compreso tra 30 e 38 °C, oppure termofila se l'intervallo di temperatura varia da 49 a 57 °C. Valutazioni effettuate sul bilancio energetico, tra l'energia prodotta dal processo e quella impiegata per il riscaldamento dei fanghi, hanno identificato nella digestione mesofila il processo più vantaggioso per impianti civili di media-alta potenzialità. Una variante migliorativa del processo di digestione anaerobica mesofila consiste nell'adozione di un pre-trattamento in condizioni termofile

**Interventi sulla
linea fanghi.
Interventi di
tipo biologico**

(eventualmente in microaerofilia) o nell'introduzione di pretrattamenti volti a favorire l'idrolizzazione del substrato (distrazione meccanica, ozonizzazione, ecc.). Recentemente è stata testata anche una nuova configurazione che consiste nell'operare contemporaneamente il processo termofilo e quello mesofilo. Tale soluzione risulta applicata alla sola scala di laboratorio (Young-Chae Song et altri 2004). La riduzione di solidi sospesi volatili, sia nei digestori operanti in condizioni termofile che in condizioni mesofile, si attesta intorno al 30% (Foladori et altri 2010).

Stabilizzazione aerobica. Il processo di digestione aerobica convenzionale ha un rendimento di rimozione degli SSV inferiore a quello ottenibile con un processo anaerobico. I parametri rilevanti per il controllo della digestione aerobica sono essenzialmente tre: l'età del fango, il contenuto di solidi sospesi totali (SST) e volatili (SSV). Il processo di stabilizzazione aerobica è condotto normalmente a temperatura ambiente e la riduzione in termini di solidi volatili ottenibile è nell'ordine del 30%, anche con tempi di digestione di 50 giorni (Foladori et altri, 2010). Il processo di digestione aerobica è realizzato in vasche aperte dotate di sistemi di miscelazione e di fornitura dell'ossigeno. I tempi di permanenza del fango sono compresi tra i 10 e i 25 giorni. Il processo di digestione aerobico presenta sostanzialmente i seguenti svantaggi: fornisce un fango che si presenta poco alla disidratazione meccanica, il rendimento di abbattimento dei SV è condizionato, in modo significativo, dalla temperatura dell'ambiente e consumi energetici elevati per la fornitura di aria (che non vengono compensati in quanto non viene prodotto biogas). Un processo interessante, proposto anche nel passato, ma che di fatto non ha mai trovato significativa applicazione, è la stabilizzazione aerobica termofila (nota con l'acronimo ATAD), in cui la temperatura di reazione si mantiene spontaneamente grazie all'esotermicità delle reazioni e la copertura (non necessariamente a tenuta) della vasca. Questo processo, nella sua configurazione tipica, consiste in due reattori posti in serie in cui il secondo lavora a temperature maggiori rispetto al primo (di solito il primo reattore opera in condizione mesofila ed il secondo in condizioni termofile) (Sanin F.D. et altri 2008; Foladori et altri 2010). I rendimenti di rimozione dei solidi volatili più elevati si ottengono se i reattori operano in condizioni termofile, con l'ulteriore vantaggio di ottenere un fango igienizzato.

Stabilizzazione anaerobica/aerobica. Il trattamento sequenziale di digestione anaerobica/aerobica del fango sta suscitando sempre più interesse ed i primi studi stanno evidenziando le maggiori performance ottenibili con tale soluzione rispetto al trattamento di digestione convenzionale (Kumar et altri 2006a, 2006b; Parravicini et altri 2008; Zupancic and Ros, 2008; Tomei et altri 2011). Kumar ed i suoi collaboratori (Kumar et altri 2006a) hanno osservato che la digestione aerobica a valle di un processo di digestione anaerobica migliora le prestazioni del sistema di digestione sia in termini di rimozione dei solidi volatili sia in termini di disidratabilità dei fanghi finali. Parravicini et altri (2008) hanno testato alla scala reale il post-trattamento aerobico (SRT~ 6 giorni) del fango in uscita da un digestore ottenendo un ulteriore abbattimento dei solidi volatili del 16%, constatando, inoltre, che i costi operativi aggiuntivi dovuti al trattamento aerobico sono del tutto trascurabili. Un altro vantaggio di questo sistema è la minor quantità di azoto ammoniacale da ricircolare in testa all'impianto di depurazione (Zupancic and Ros, 2008). Ad oggi tale processo non trova ancora applicazione alla scala reale.

Processi a cicli alternati. Il consumo considerevole di energia elettrica legato all'utilizzo di sistemi di stabilizzazione aerobica può essere ridotto alternando fasi aerobiche con fasi anossiche (o anaerobiche). I processi a cicli alternati sono costituiti da un reattore che può funzionare secondo cicli differenti, in funzione dell'obiettivo che ci si prefigge: eliminazione dei nutrienti contenuti nel ricircolo in testa all'impianto, selezionare tipologie di biomassa a supporto dei processi biologici della linea acque e minimizzare la produzione dei fanghi di depurazione. In quest'ultimo caso il reattore viene alimentato con fango di supero biologico e reflui fognari. Teoricamente, la riduzione della quantità di fanghi è ottenibile in quanto il tasso di crescita eterotrofo assume valori bassi in condizioni anossiche ($0,30 \div 0,36$ gSSV/gCOD), se confrontato con quello in condizioni aerobiche ($0,45$ gSSV/gCOD). La riduzione di fango ottenibile non sembra essere molto elevata in quanto la biomassa batterica rappresenta solo il $15 \div 30\%$ dei solidi sospesi totali del fango.

La riduzione di SSV nel fango ottenibile è nell'ordine di quella del processo di digestione aerobica tradizionale col vantaggio che, l'alternanza di fasi aerobiche e anossiche (o anaerobiche) consente di ridurre i consumi energetici.

Esistono differenti configurazioni di tali soluzioni che prevedono (Araki et altri 1990; Henze et altri 1996) o meno la realizzazione di

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

vasche supplementari (Battistoni et altri 2003a; Battistoni et altri 2003b). Esistono applicazioni già alle scale reale in impianti di medio-piccola dimensione.

Dosaggio di enzimi. È in fase di studio la possibilità di migliorare l'efficienza di digestione mediante aggiunte di enzimi a monte del processo.

Il recupero di materia ed energia dai fanghi

“Historically, it was common to see schematics that showed the water treatment scheme in detail [...] and an arrow at the end that simply said ‘sludge to disposal’” (Neyens et altri, 2004).

La storia ci insegna, mettendo in risalto aspetti significativi della depurazione, come il fango in uscita dagli impianti doveva essere “smaltito” ed il più delle volte la soluzione che veniva scelta era la discarica e/o lo spandimento in agricoltura. Di rado, soprattutto in Italia, era il conferimento dei fanghi ad impianti di termodistruzione (ancora più raro il caso di smaltimento in impianti dedicati).

Grazie anche al quadro legislativo in vigore (D.lgs. 152/2006), si è sempre più soliti parlare di “riutilizzo”, “recupero” nonché di “riduzione” dei rifiuti. In merito si ricorda la gerarchia che la normativa (D.lgs. 152/2006) individua nella gestione dei rifiuti:

- a) Prevenzione;
- b) Preparazione per il riutilizzo;
- c) Riciclaggio;
- d) Recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia;
- e) Smaltimento.

Pertanto, la soluzione che un tempo veniva utilizzata con estrema facilità e disinvoltura, ossia la discarica (a causa dei vantaggiosi costi di smaltimento che offriva ai gestori), oggi viene vista come la soluzione finale di un più complesso ciclo di trattamento dei rifiuti, non per niente, anche se con alcune deroghe, la Direttiva 1999/31/CE (recepita in Italia col D.lgs. 36/2003 e s.m.i.), sostanzialmente vieta il conferimento dei fanghi di depurazione tal quali in discarica.

Le normative in vigore, pertanto, ci obbligano a cambiare ed ampliare il punto di vista sul problema, di conseguenza, i fanghi non devono più essere visti solo ed esclusivamente quali rifiuti (fanghi = rifiuti = problema) ma come una nuova possibilità (fanghi = risorsa = nuove opportunità). Di seguito vengono esposte le diverse soluzioni adottabili sia nell'ottica della riduzione dei fanghi (vedendoli pertanto

quale rifiuto da smaltire) e altre per il loro recupero quale materia prima in processi produttivi o quale fonte energetica (vedendoli di conseguenza come una risorsa).

Bisogna tener presente che, in alcune soluzioni, non sempre è facile poter tracciare una linea netta di demarcazione tra il recupero dei fanghi quale materia o quale fonte energetica, infatti, in molti casi i due aspetti coesistono.

I benefici dello spandimento dei fanghi sul suolo agricolo sono noti ed in letteratura sono riportati numerosi studi che evidenziano come l'applicazione dei fanghi sui suoli possa portare ad un miglioramento delle loro caratteristiche chimico-fisiche. Nonostante ciò, l'opinione pubblica si rivela particolarmente restia ad accettare tale soluzione. Nel 1993 la Water Environmental Federation creò un'apposita commissione con lo scopo di studiare il motivo per cui la popolazione recepisce in modo così problematico lo spandimento dei fanghi sui suoli agricoli. Ciò che emerse dallo studio è che lo spandimento dei fanghi sui terreni è visto in modo negativo in quanto, i fanghi, sono chiamati "fanghi", parola che per i non addetti ai lavori ha, evidentemente, un connotato negativo. A conclusione dello studio la commissione consigliò l'adozione di un nuovo termine che desse un connotato meno negativo ai fanghi di depurazione. Venne così coniata la parola "biosolidi" (Sanin et altri 2008). In alcuni casi, lo spandimento dei fanghi in agricoltura viene recepito dalla popolazione come problematico anche a causa dei cattivi odori che possono derivarne anche se ciò non dovrebbe verificarsi se il fango utilizzato ha raggiunto un sufficiente grado di stabilizzazione. È noto, peraltro, che, per quanto concerne gli aspetti ambientali e della salute, la sensibilità e l'attenzione dell'opinione pubblica sono in continua crescita e ciò aumenta la frequenza dei casi in cui si debbono gestire situazioni conflittuali di diversa entità. In Europa il dibattito sul riutilizzo dei fanghi che si è registrato in questi anni ha evidenziato una notevole varietà di atteggiamenti che ha dato luogo a livello comunitario, ad una stretta regolamentazione delle modalità di riutilizzo affinché le scelte risultino ambientalmente corrette. Va peraltro ricordata, tra le iniziative significative, la creazione di EFAR (*European Federation for Agricultural Recycling*), una organizzazione europea che raggruppa gli operatori del riutilizzo agronomico dei fanghi, fondata nel 2006, con sede a Parigi, e finalizzata a promuovere la conoscenza scientifica nel settore. Il dibattito in Italia sul riuso dei

Recupero in agricoltura

fanghi è attualmente ancora abbastanza limitato e territorialmente circoscritto alle regioni del nord in cui tale riuso è particolarmente diffuso. Va evidenziato come, però, negli ultimi anni vi sia stata una fervida legiferazione regionale in materia volta a regolamentare lo spandimento dei fanghi sui suoli agricoli, sinonimo del crescente interesse verso la problematica. Bisogna tenere presente, però, che la quantità di fanghi conferibili in agricoltura è funzione anche della disponibilità di area. Infatti, il quadro normativo vigente, oltre a definire le caratteristiche chimico-fisiche che un fango deve rispettare per poter essere utilizzato come ammendante in agricoltura, definisce, non solo il carico applicabile per ettaro di terreno (espresso come tSS/ha), ma anche il carico in termini di azoto (kgN/ha) al fine di prevenire la contaminazione da nitrati in falda. Di seguito vengono espone le diverse tecnologie impiantistiche e trattamenti che permettono di ottenere un fango idoneo allo spandimento in agricoltura o che consentono il suo riutilizzo come compost. Il D.lgs. n. 99 del 27 gennaio 1992 non specifica o delimita la tipologia dei trattamenti depurativi di provenienza, in tale senso si esprimono però i regolamenti di alcune regioni che restringono la possibilità di utilizzo ai fanghi “biologici” con estensione ai fanghi primari sottoposti a stabilizzazione biologica. In sostanza si può dire che il fango di supero di partenza può essere costituito da fango biologico secondario, miscelato eventualmente a fango primario e a fango terziario, incluso relativi additivi chimici purché le caratteristiche finali siano compatibili e conformi alle prescrizioni autorizzative. La normativa richiede che i fanghi, per essere utilizzati in agricoltura, debbano essere sempre trattati, ovvero sottoposti a trattamento biologico, termico o chimico, a deposito a lungo termine o ad altro opportuno procedimento in modo da ridurre in maniera rilevante il loro potere fermentescibile e gli inconvenienti sanitari derivanti dalla loro utilizzazione. I fanghi, notoriamente, subiscono già all’interno degli impianti di depurazione specifici trattamenti essenzialmente finalizzati alla riduzione della frazione di solidi volatili (stabilizzazione), nonché dell’umidità e quindi del volume finale (ispessimento e disidratazione). Questi trattamenti possono avere effetti sulle caratteristiche dei fanghi anche in relazione ai parametri qualitativi importanti ai fini dell’impiego in agricoltura. Più mirati sono invece i trattamenti effettuati nelle “piattaforme specializzate”, ovvero impianti di trattamento autorizzati a ricevere, trattare ed utilizzare i fanghi per conto terzi. Le tipologie di fanghi che possono ricevere

sono stabilite dalla autorizzazione regionale; il fango in uscita deve ovviamente rispondere a tutti i requisiti di legge.

I trattamenti convenzionalmente adottati presso gli impianti di depurazione possono consistere in:

- a) Ispessimento statico o addensamento dinamico;
- b) Stabilizzazione anaerobica o, meno frequentemente, aerobica;
- c) Disidratazione meccanica più o meno spinta.

Tali trattamenti, che possono essere definiti “base”, risultano sempre presenti e sono finalizzati alla riduzione della quantità di fango prodotto, sia come secco totale che come volume. La percentuale di secco nel fango, infatti, incide sulla superficie di terreno necessaria al suo spandimento mentre il volume sui costi di trasporto e smaltimento, soprattutto nel caso di conferimento a terzi.

L'*ispessimento* è un trattamento meccanico deputato esclusivamente alla separazione dell'acqua dal fango; pertanto non opera alcuna trasformazione qualitativa. Il contenuto di secco mediamente raggiunto in tale trattamento è compreso tra il 3÷6%. I trattamenti successivi di stabilizzazione e disidratazione sono di solito adottati in funzione delle dimensioni dell'impianto, della produzione di fango e della modalità di smaltimento (conto terzi o conferimento a terzi). Va sottolineato, infatti, che a differenza della disidratazione, la stabilizzazione non è sempre presente all'interno degli impianti di depurazione.

La *stabilizzazione biologica* (digestione) dei fanghi (§1.5.2.2) può avvenire attraverso processi anaerobici e aerobici. In questi casi, le modificazioni indotte sulla matrice organica del fango hanno conseguenze apprezzabili ai fini del riutilizzo, come per altro è negli obiettivi della normativa vigente. La sostanza organica viene parzialmente degradata: si passa infatti da un contenuto di solidi volatili (SV) pari al 70 – 75% dei solidi totali (ST) ad un rapporto SV/ST pari al 50 – 60%. L'eliminazione di sostanza organica non è in genere tale da compromettere la disponibilità minima di carbonio organico richiesta dalla norma (pari al 20% espresso come carbonio organico totale), tuttavia per taluni fanghi una buona stabilizzazione combinata con una successiva disidratazione spinta mediante l'utilizzo di reagenti chimici (es. calce e cloruro ferrico) può comportare problemi in tal senso. I metalli pesanti sono soggetti a fenomeni che si possono manifestare in modo diverso a seconda del tipo di trattamento (aerobico o anaerobico) e più in generale delle condizioni al contorno

(caratteristiche qualitative dei fanghi, pH, temperatura, potenziale redox, speciazione iniziale dei metalli). In generale si può parlare di risolubilizzazione (a pH acido), complessazione (ad opera di NH_4^+ , organici derivanti dalla trasformazione della sostanza volatile, ecc.), precipitazione (es. come solfuri o come idrossidi e carbonati), adsorbimento (sulle particelle di fango), ecc. Nel fango fresco l'azoto è presente essenzialmente in forma organica: in seguito ad un lungo processo di mineralizzazione, il fango rilascia composti assimilabili da parte delle piante. Nel fango digerito anaerobicamente, invece, l'azoto è in forma ammoniacale (70%) e quindi molto velocemente assorbibile dalle piante. Tuttavia il processo di digestione dei fanghi comporta ammonificazione quindi la perdita (insieme all'acqua nella successiva eventuale disidratazione) dell'azoto contenuto. Si osserva, tuttavia che l'azoto organico presente nei fanghi è meno mobile rispetto a quello contenuto nei fertilizzanti in commercio e comporta di conseguenza meno rischi in termini di inquinamento dell'acqua di falda. Il fosforo risulta presente nella quasi totalità in forma insolubile poiché legato a composti del ferro, alluminio, calcio e magnesio, già abbondanti nei liquami, cui si aggiungono i reattivi a base di Fe e Al utilizzati sia per la rimozione chimica del fosforo dai liquami sia per il condizionamento dei fanghi. Nei fanghi sono presenti microorganismi di vario tipo. I trattamenti di stabilizzazione biologica sono in grado di ridurre significativamente il grado di contaminazione microbiologica di un fango; per il rispetto dei limiti di legge sono però in genere ulteriormente richiesti trattamenti di igienizzazione o l'essiccamento termico.

La disidratazione meccanica ha come obiettivo la drastica riduzione di umidità (che passa dal 92÷95% del fango ispessito-digerito, al 60÷80% del fango disidratato). Nondimeno, oltre a questo effetto primario, si possono verificare altre conseguenze dovute al fatto che la disidratazione avviene previo condizionamento con calce (o altri reattivi flocculanti). Qualora si utilizzino dosaggi significativi di calce (es. nei trattamenti di filtropressatura) si potrebbero verificare le seguenti condizioni (con grado differente a seconda delle condizioni specifiche):

- a) Effetto di “diluizione” dei metalli pesanti per incremento della sostanza secca;
- b) Effetto di “concentrazione” dei metalli pesanti per precipitazione.

Inoltre, va considerato il già citato possibile effetto di riduzione del contenuto organico. Si deve, infine, osservare che elevate presenze di Fe e Al, unitamente a fanghi ricchi di calce intorno a $\text{pH}=10$, agiscono da sequestranti del fosforo, riducendone la disponibilità per il terreno.

L'essiccamento termico dei fanghi, trattamento non comune presso gli impianti di depurazione e utilizzato solo ove ne sussista la convenienza tecnico- economica, consente, ai fini del riutilizzo in agricoltura, vantaggi connessi alla igienizzazione del fango e al miglioramento della sua manipolabilità (il prodotto si presenta con un contenuto di secco di circa il 90%) in vista soprattutto dello stoccaggio. Non sempre, con i trattamenti base precedentemente descritti, si raggiungono i requisiti di legge. I trattamenti convenzionali possono essere seguiti da ulteriori trattamenti specifici (presso le piattaforme specializzate). Il trattamento specifico attualmente più diffuso presso le piattaforme specializzate nella raccolta e riutilizzo di fanghi in agricoltura è il condizionamento, che consiste nella miscelazione dei fanghi in entrata seguita dalla igienizzazione con calce idrata o con ossido di calcio. La alcalinizzazione esplica infatti una azione di stabilizzazione ed igienizzazione, con inibizione dell'attività metabolica batterica e abbattimento della carica microbica fecale potenzialmente patogena a livelli rientranti nei limiti di legge. Tale trattamento viene solitamente effettuato miscelando la polvere con il fango disidratato. I dosaggi di riferimento possono variare fino a non più del 10% SS di calce rispetto alla sostanza secca del fango al fine di salvaguardare il titolo di carbonio che non deve scendere sotto il 20%. Riguardo il trattamento con calce, va evidenziato che il pH sensibilmente alcalino che si raggiunge in fase di dosaggio (maggiore di 12) comporta lo sviluppo in fase gassosa di parte dei composti ammoniacali presenti nell'acqua del fango, con conseguente sviluppo di cattivi odori che in taluni casi comportano serie problematiche gestionali e di sicurezza sia nella fase di dosaggio che nelle successive fasi di stoccaggio e movimentazione. In alcuni casi si adotta anche l'aggiunta di soluzione ammoniacale nel fango la cui quantità è calcolata sperimentalmente e regolata anche in funzione del tempo previsto per la permanenza del fango nelle vasche di stoccaggio e delle prove sulla variabilità del pH nel tempo. Alla fine può essere aggiunto acido fosforico come neutralizzante e/o correttore del tenore di fosforo. Lo stoccaggio del fango prima dell'utilizzo in agricoltura è necessario principalmente come polmone per far fronte alle possibilità temporali di smaltimento. Il volume dello stoccaggio

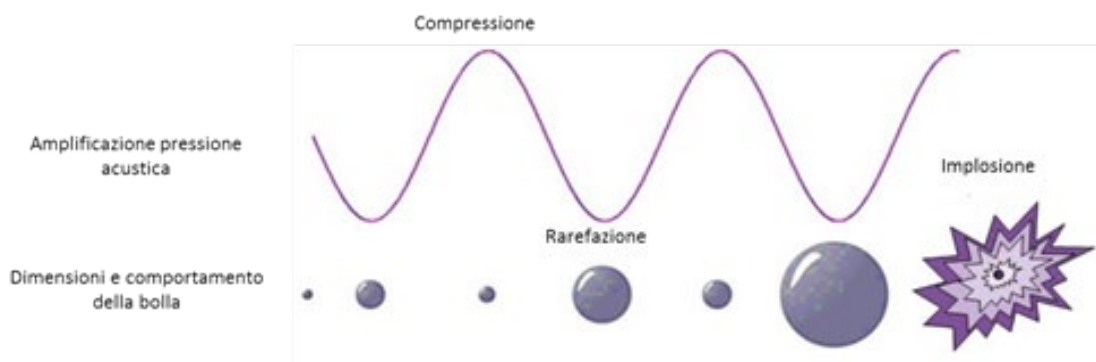
Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

può dipendere o da prescrizioni contenute nell'autorizzazione o, in sua mancanza, da scelte progettuali/gestionali. Le problematiche di tale comparto sono principalmente dovute all'emanazione di cattivi odori, che possono comportare la realizzazione di opportune sezioni di trattamento delle arie. Il fango in uscita deve ovviamente rispondere a tutti i requisiti di legge, mentre sui fanghi in entrata (la cui tipologia è definita dalla specifica autorizzazione regionale) tali requisiti possono anche non essere soddisfatti in quanto, appunto, è previsto che il fango venga successivamente trattato. Anche il compostaggio (vedi § 1.6.2) può essere visto come trattamento finalizzato al riuso dei fanghi in agricoltura in quanto tali, ovvero non come “compost” (inteso come materia prima) fatto salvo comunque il rispetto dei vincoli di cui al D.lgs. 99/92.

Conclusioni

I paragrafi che articolano il primo capitolo hanno evidenziato i metodi utilizzabili per il calcolo degli indici di funzionalità degli impianti, le verifiche di funzionalità applicabili alla linea fanghi, hanno elencato una panoramica sulle possibili tecniche di minimizzazione applicabili agli impianti e sulle possibili strategie utilizzabili per il recupero di materia ed energia dai fanghi. L'attività di ricerca che sarà adesso particolarmente analizzata prevede l'utilizzo di nuove metodologie al fine di coadiuvare e risolvere le problematiche suesposte inerenti al risparmio energetico/gestionale dell'impianto di depurazione. Pertanto, prima di entrare nello specifico, sarebbe opportuno indicare quali siano le soluzioni innovative che questo lavoro di ricerca tende a realizzare. Come più volte esplicitato ed evidenziato in letteratura l'*exitus pelagus* riguarda il risparmio economico che ogni intervento proposto produce sull'impianto di depurazione. Per tale motivo, oltre ad un monitoraggio ambientale, dovuto da esigenze legislative, il gestore dell'impianto è preoccupato dei consumi quotidiani dell'impianto, al fine di ridurre i costi di gestione. La ricerca proposta affronta questa tematica analizzando e sviluppando tecniche innovative (Termografia, realizzazione di sistemi integrati di monitoraggio, algoritmi previsionali) in grado di fornire feedback interessanti all'ente gestore dell'impianto.

Fenomeno della cavitazione acustica.



CAPITOLO II

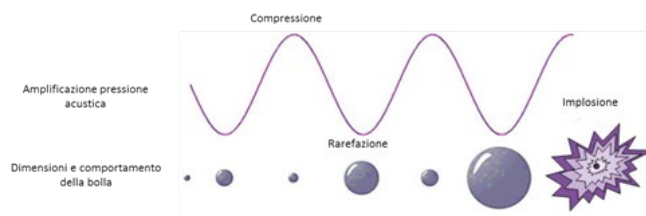
Riduzione quantitativa dei fanghi e miglioramento qualitativo

Il lavoro di ricerca proposto ha la finalità di portare significativi metodi di innovazione sull'impianto di depurazione di Cropani. Per tale motivo si propone di realizzare prototipi e metodologie innovative, in grado di ridurre i consumi energetici presenti sulla linea delle acque e dei fanghi. Una metodologia di riduzione dei consumi energetici e gestionali per quanto riguarda la linea dei fanghi è lo smaltimento agricolo per dare, appunto, una nuova vita ai fanghi. Nella letteratura specialistica del settore depurativo, questa tecnica è molto spesso vista come un buon compromesso tra la necessità di trovare una destinazione finale per i fanghi prodotti dai depuratori, e la necessità di compensare la perdita di sostanza organica e fertilità nei terreni agricoli, spesso troppo sfruttati. Per tale motivo si è accentrata la ricerca su questa metodologia di trattamento e nello specifico si è concentrata l'attenzione sul pretrattamento ad ultrasuoni (noto anche come sonicazione o ultrasuoni). Lo scopo, infatti, è quello di rompere i fiocchi di fanghi e le cellule batteriche che portano al rilascio di materiale intracellulare ed extracellulare in soluzione per una biodegradazione avanzata durante il processo di digestione anaerobica. Gli ultrasuoni sono generati usando tecniche magnetostriitive e piezoelettriche. Durante la sonicazione, il trasduttore converte l'energia elettrica in onde sonore meccaniche che vengono amplificate dal booster e le onde meccaniche vengono trasportate dal clacson nel liquido. Come qualsiasi altra onda sonora, l'ultrasuono passa attraverso il mezzo di fango generando una serie di cicli di compressione (esercitando pressione positiva) e di rarefazione (esercitando una pressione negativa) (Figura 5). Quando è abbastanza grande, la pressione negativa nella zona di rarefazione supera le forze

Introduzione

attrattive molecolari nel liquido, il liquido si rompe e si formano vuoti (bolle di cavitazione).

fig. 5. Fenomeno della cavitazione acustica.



La generazione di calore, le forze di taglio ad alta dinamica e gli effetti sono-chimici sono ritenuti responsabili della disintegrazione dei fanghi e sono correlati ai fenomeni di cavitazione. Le prestazioni di ultrasuoni per il pretrattamento dei fanghi dipendono da alcuni parametri importanti come l'apporto di energia specifica, l'intensità della sonicazione, la durata, la frequenza e le caratteristiche dei fanghi. La frequenza degli ultrasuoni è di fondamentale importanza per l'efficacia dei sistemi ultrasonici coinvolti nel pretrattamento dei fanghi poiché la dimensione critica delle microbolle è regolata dalla frequenza operativa. A funzionamento ad alta frequenza (dell'ordine di MHz), la formazione di bolle di cavitazione è più difficile del funzionamento a bassa frequenza (dell'ordine di kHz) e il funzionamento a frequenza inferiore (20-40 kHz) ha dimostrato di essere più efficace per ottenere la disintegrazione dei fanghi desiderata.

frequenza (dell'ordine di kHz) e il funzionamento a frequenza inferiore (20-40 kHz) ha dimostrato di essere più efficace per ottenere la disintegrazione dei fanghi desiderata.

Pretrattamento dei fanghi mediante sonicazione

Le prove sono state effettuate mediante sonicazione di 125 ml di fanghi secondo i parametri riportati in Tabella 3, l'apparato sperimentale mostrato in Figura 6. Le misure di potenziale ζ , conducibilità ed indice di poli-dispersibilità delle particelle sono state effettuate con campionamenti ad intervalli regolari di 5 minuti.

Il potenziale ζ è una misura dell'ampiezza della repulsione/attrazione elettrostatica o di carica tra le particelle ed è uno dei parametri fondamentali noti per influenzare la stabilità. La sua misurazione fornisce una visione dettagliata delle cause di dispersione, aggregazione o flocculazione. Un valore elevato di potenziale ζ conferisce maggiore stabilità ai sistemi colloidali, in quanto si originano repulsioni elettrostatiche che impediscono l'aggregazione delle particelle disperse. Quando il potenziale è basso, le forze

attrattive prevalgono sulle repulsioni e quindi risulta più semplice il verificarsi di processi quali la coagulazione e la flocculazione.

L'indice di poli-dispersibilità fornisce una misura affidabile della dimensione media di una distribuzione delle dimensioni delle particelle mediante diffusione dinamica della luce.

Potenziale ζ [mV]	Stabilità del colloide
Da 0 a ± 5	Rapida coagulazione o flocculazione
Da ± 10 a ± 30	Instabilità incipiente
Da ± 30 a ± 40	Moderata stabilità
Da ± 40 a ± 60	Buona stabilità
$> \pm 61$	Eccellente stabilità

tab. 3. Diversa stabilità dei colloidi in funzione del variare del potenziale ζ .

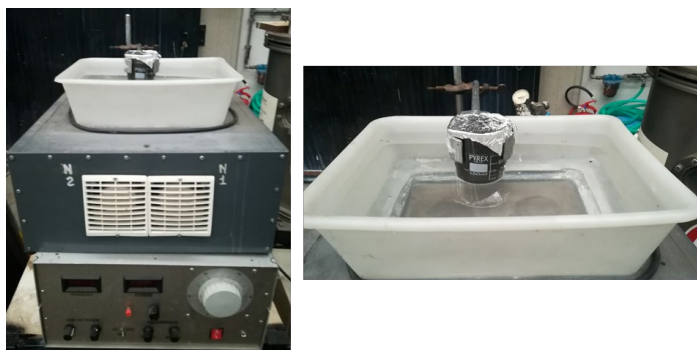


fig. 6. Apparato sperimentale per il processo di pretrattamento dei fanghi mediante sonicazione.

Parametri	Range
Frequenza Ultrasuoni (kHz)	20 kHz, costante
Amplificazione, A (%)	20, 40, 60 A
Durata sonicazione (min.)	0-60 min. (campionamento ogni 5 min.)
Volume (ml)	125

tab. 4 Parametri di sonicazione.

Parametri			
Amplificazione, A (%)	20	40	60
Potenza (W)	0.3	0.8	1.6
Tfinale (°C)	20	28	36

tab. 5. Condizione operative di sonicazione.

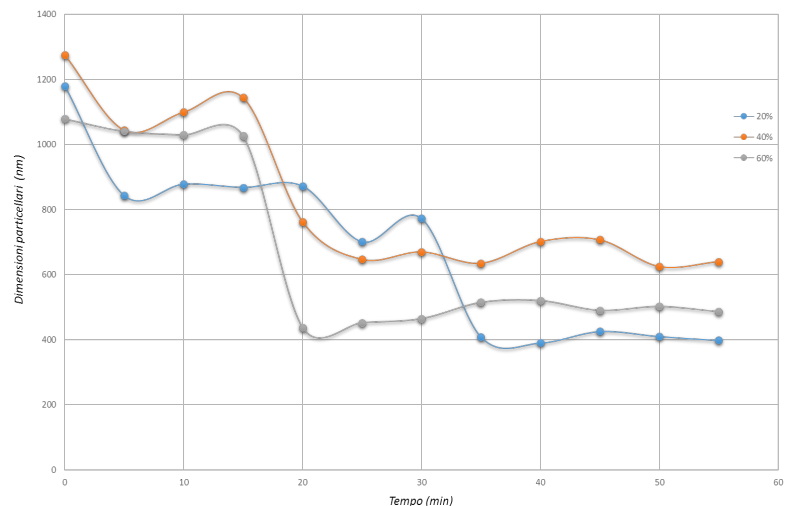
L'analisi della dimensione delle particelle per campioni di fanghi sonicati e non è stata condotta mediante Zetasizer Malvern. Lo strumento funziona con il principio della diffusione della luce laser e una distribuzione granulometrica viene calcolata dalle misure dell'intensità angolare della luce diffusa prodotta da un campione. Il pretrattamento con ultrasuoni è stato utilizzato per ottimizzare

Indice di poli-dispersibilità

l'efficienza della solubilizzazione dei fanghi e alla riduzione della dimensione delle particelle.

In base a studi riportati in letteratura, si prevede che la sonicazione abbia un grande impatto sulla dimensione delle particelle dei fanghi. Durante la sonicazione, infatti, le forze meccaniche di taglio (idrauliche) aumentano il volume impegnato dal particolato e i fiocchi di fango altamente porosi vengono disgregati in micro flocculi. La distribuzione delle dimensioni delle particelle prima e dopo la sonicazione a diverse densità di potenza e durata è presentata in Figura 7.

fig. 7. Distribuzione delle dimensioni particellari nel tempo a diverse amplificazioni.



Solo con il più alto livello di potenza di 1.6 W, si nota una diminuzione marcata delle dimensioni particellari (55%) per una durata della sonicazione di 20 e 25 minuti. Nel caso di una potenza di 0.8 W si ottiene una riduzione del 49% (20-25 minuti) mentre del 52% nel caso di una potenza di 0.3 W (30-45 minuti).

Potenziale ζ

Il potenziale ζ è un indice importante per determinare la carica superficiale elettrica delle particelle di fango e tende a diminuire man mano che la carica negativa della superficie dei fanghi diminuisce. Tale indice fornisce un'indicazione della potenziale stabilità del sistema colloidale. Il valore iniziale del potenziale ζ è di -11.8 mV. Questo risultato è in accordo con il range usuale (da -10 mV a -30 mV) del potenziale ζ precedentemente riportato in letteratura per i fanghi di scarto (Forster, 1985; Forster, 1968; Valin and Sutherland, 1982).

Il valore del potenziale ζ in seguito al pretrattamento mediante sonicazione non ha mostrato alcuna tendenza specifica (Tabella 6).

Altri studi riportati in letteratura hanno dimostrato che l'applicazione di tale tecnologia non ha alcun effetto sul potenziale ζ delle particelle sospese (Wang et al 2010). Una delle possibili spiegazioni sta nel fatto che quando una cellula flocculante si rompe, le concentrazioni di ioni Ca^{2+} e Mg^{2+} nel surnatante aumentano significativamente, e questi ioni sono considerati come componenti essenziali per associare le particelle costituenti.

Amplificazione e tempo di trattamento	Non trattato	20% (35 min.)	40% (25 min.)	60% (25 min.)
Potenziale ζ (mV)	-11.8	-12.2	-11.5	-9,62

tab. 6. Potenziale ζ e Conducibilità per i fanghi trattati con ultrasuoni.

Un agente disperdente è un polimero non attivo in superficie o una sostanza attiva in superficie aggiunta ad una sospensione, solitamente un colloide, per migliorare la separazione delle particelle e per impedire la sedimentazione o l'aggregazione.

I disperdenti “deflocculano” i solidi e quindi riducono significativamente la viscosità di una dispersione. Come risultato di questo effetto, il carico solido - la quantità di materiale in polvere disperdibile - può essere aumentato di conseguenza. Inoltre si ottiene una dispersione stabile con valori di potenziale ζ superiori a +30 mV o inferiori a -30 mV.

Test relativi all'efficacia dell'effetto combinato di un agente disperdente (SILCOSPERSERSE HLD5, bagnante ad alta prestazione senza silicone e agente disperdente per sistemi pigmentati a base di acqua; Solido totale: 49.0-51.0%; Agente attivo: 39.0-41.0%; pH: 7.0 – 9.0) e trattamento con ultrasuoni sono stati verificati (Tabella 7).

Agente Disperdente

Amplificazione e tempo di trattamento	20% (35 min)				40% (25 min)				60% (25 min)			
	0.5%	1%	1.5%	3%	0.5%	1%	1.5%	3%	0.5%	1%	1.5%	3%
SILCOSPERSERSE [%w/v]												
Potenziale Z (mV)	-12.3	-11.8	-11.5	-14.8	-11.1	-12.2	-12.1	-15.2	-12.5	-11.6	-12.3	-14.9
Conducibilità (mS/cm)	1.11	1.10	1.12	1.28	1.12	1.12	1.14	1.19	1.17	1.14	1.16	1.20

tab. 7. Potenziale ζ per i fanghi contenenti un agente disperdente e trattati con ultrasuoni.

Diverse quantità di agente disperdente (intervallo 0.5-3%v/v) sono state studiate e le condizioni ottimali sono state definite in base alla conducibilità ed alla stabilità della dispersione misurata dal potenziale ζ . I dati hanno confermato che la combinazione del trattamento ultrasuoni con agente disperdente (3%v/v) promuove la produzione di una dispersione stabile aumentando l'interazione tra ultrasuono e

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

particella di fango. All’aumentare della concentrazione di agente disperdente si osserva l’aumento della conducibilità dovuto ad una concentrazione maggiore di ioni liberi in soluzione in seguito al processo di disgregazione del fango.

Variazione del COD (Chemical Oxygen demand)

La misura del COD è relativa all'ossigeno necessario per ossidare le sostanze organiche solubili e particolati presenti in una matrice.

Livelli di COD più alti significano una maggiore quantità di materiale organico ossidabile nel campione, che ridurrà i livelli di ossigeno disciolto (DO). Una riduzione del DO può portare a condizioni anaerobiche.

L’efficacia della disintegrazione/solubilizzazione del fango è stata monitorata verificando l’andamento del COD nel surnatante del fango.

In Tabella 7 sono riportati i valori di COD per i fanghi non trattati e trattati con ultrasuoni.

tab. 8. Valori di COD per i fanghi non trattati e trattati con ultrasuoni.

<i>Parametro</i>	<i>Non trattato</i>	<i>20% (35 min.)</i>	<i>40% (25 min.)</i>	<i>60% (25 min.)</i>
COD (mg/L)	2012	2200	3534	3429

Il trattamento dei campioni mediante ultrasuoni produce un aumento del valore di COD indicando un elevato contenuto di materiale organico ossidabile nel campione in seguito al processo di disintegrazione.

Essiccazione del fango

I test di sonicazione per verificare l’effetto nella fase di essiccazione del fango sono stati condotti per lo stesso range di frequenze. Il processo di disintegrazione del fango riduce le dimensioni dei fiocchi, facilita la migrazione del vapore all’esterno del fiocco e ne limita l’aggregazione. Come riportato in letteratura, questi fattori influenzano la fase di essiccazione facilitando la rimozione dell’umidità e quindi il peso del fango. I risultati dei test condotti sono riportati in Tabella 9

tab. 9. Test di essiccazione del fango.
* i campioni sono stati essiccati in stufa a 100°C per 2h

<i>Tipo Campione</i>	<i>Peso iniziale (g)</i>	<i>Peso Finale (g)</i>	<i>% riduzione peso</i>
Fanghi non trattati	37.52	34.02	9.3
Fanghi trattati con US (60% A)	38.05	34.01	10.6

Come mostrato in Tabella 9, l’effetto del trattamento ad ultrasuoni del campione di fango è mostrato da una variazione modesta nella

riduzione del peso 1-2% rispetto al campione non trattato ed essiccato nelle medesime condizioni sperimentali. Tale effetto evidenzia quindi una lieve riduzione del contenuto di umidità dal campione trattato con US rispetto al campione non trattato.

Le attività esposte in questo capitolo sono state svolte in collaborazione con la *Next Technology Tecnotessile* di Prato, ed hanno dimostrato l'efficacia del trattamento ad ultrasuoni per quanto riguarda la disgregazione del fango. I test sono stati effettuati prima in laboratorio ed in seguito validati nell'impianto di depurazione di Cropani. Essi sono stati condotti in varie condizioni sperimentali ed hanno mostrato una riduzione delle dimensioni delle particelle di circa il 50% (amplificazione 20% e 40%) e di circa il 55% (amplificazione 60%). Tale risultato è stato verificato anche mediante l'aumento di COD nel surnatante del fango e da una maggiore riduzione del contenuto di umidità con conseguente riduzione di peso.

Inoltre, l'utilizzo di un agente disperdente combinato con il trattamento ad ultrasuoni promuove la produzione di una dispersione stabile aumentandone inoltre l'efficienza di disgregazione. L'aggiunta di tale agente dovrebbe essere ulteriormente analizzato per verificare il possibile riutilizzo del fango sulla destinazione d'uso agricola.

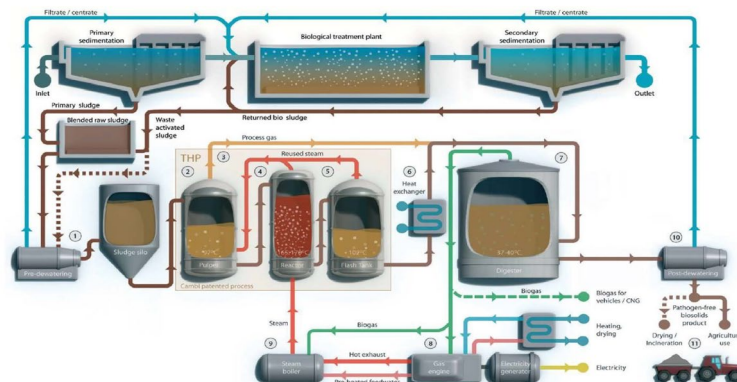
Per valutare l'efficienza di disintegrazione del fango, le concentrazioni di proteine, lipidi, acidi umici e carboidrati sono ulteriori parametri molto importanti da investigare. Come ampiamente dimostrato in letteratura i pretrattamenti di disintegrazione del fango hanno l'obiettivo di accelerare la fase d'idrolisi, fase cineticamente limitante nel processo di digestione anaerobica. Pretrattamenti di tipo termico, meccanico (ultrasuoni, mulino a palle, omogenizzatori ad alta pressione) o chimico (idrolisi acida o basica, processi di ossidazione con ozono/Fenton) permettono infatti di accelerare la fase di solubilizzazione del materiale particolato, di diminuire le dimensioni delle particelle migliorando le prestazioni del processo con riferimento soprattutto all'abbattimento di solidi volatili ed alla conseguente produzione di biogas.

La scelta del pretrattamento termico ad ultrasuoni, a differenza di altri tipi di pretrattamento è stata ampiamente ponderata in fase di studio, perché fornisce una valida riduzione dei fanghi ed al contempo è facilmente integrabile su un impianto di depurazione non all'avanguardia. Infatti, la disintegrazione cellulare può essere realizzata per via termica (a 170-190° per 30-60 minuti), ottenendo un

Conclusioni

elevato livello di solubilizzazione, unitamente alla modificazione delle caratteristiche del fango, che porta ad un significativo miglioramento della filtrabilità, ed alla riduzione dei patogeni (Bougrier, et al., 2006; Valo et al., 2004). Come processo di pretrattamento a monte della digestione anaerobica, esso può consentire di ridurre la produzione finale di fango del 50-70%. Il processo Cambi® Fig. 2.4 opera a temperatura di 170°C e pressione di 8 bar, per circa 45 minuti.

fig. 8. Schema di processo Cambi THP – Impianto di Depurazione Standard



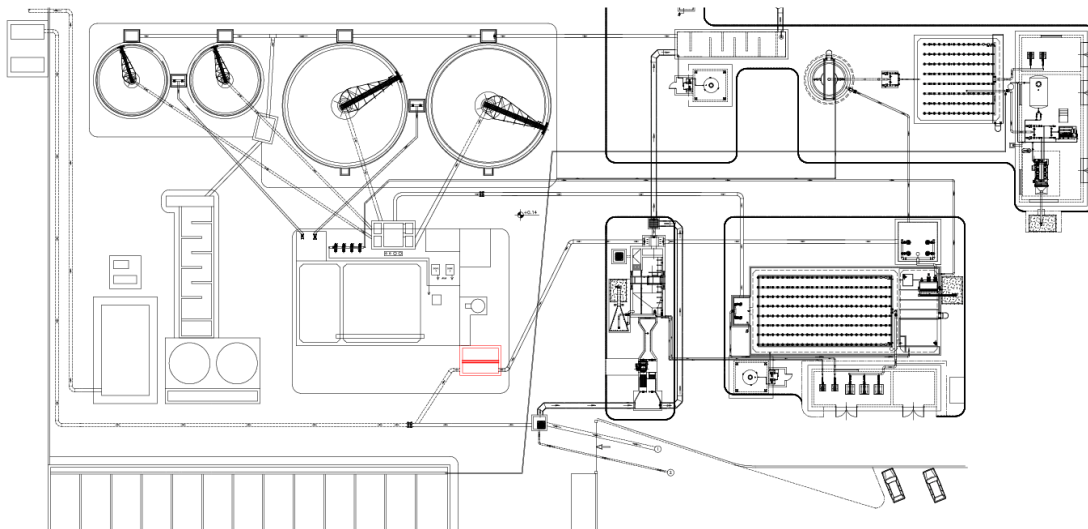
Il processo avviene in 5 fasi: 1) Pre-disidratazione meccanica fino al 15-20% di secco; Omogeneizzazione e preriscaldamento nel Pulper dove è alimentato il vapore prodotto nel reattore e nel serbatoio di flash; 3) Dissoluzione nel reattore ad elevata pressione e temperatura per effetto di alimentazione diretta di vapore vivo; 4) Raffreddamento nel serbatoio di flash per riduzione della pressione a 4 bar da cui è recuperato vapore da utilizzare nel reattore; 5) Ulteriore raffreddamento prima dell'alimentazione al digestore anaerobico mesofilo convenzionale. Con il processo Cambi è possibile ottenere un incremento di abbattimento dei solidi volatili superiore al 50% rispetto alla digestione convenzionale mesofila (con analogo incremento di produzione di biogas) ed una sensibile riduzione della viscosità del fango. Come, si evince, il processo Cambi richiede un intervento strutturale sull'impianto molto costoso, per tale motivo a parità di prestazioni si è scelta la tecnica con ultrasuoni, che è stata investigata negli anni mediante studi in scala di laboratorio, pilota e reale. Le forze meccaniche generate dagli ultrasuoni sono in grado di disintegrare la struttura del fiocco di fango a basse energie, comportando di conseguenza, un notevole risparmio energetico a differenza degli altri pretrattamenti. Incrementando l'energia si può giungere alla rottura completa delle membrane cellulari con conseguente rilascio in soluzione di grandi quantità di materiale

organico, migliorando la prestazione della digestione anaerobica. In conclusione, la gestione dei fanghi di depurazione deve perseguire l'obiettivo principale delineato nella nuova direttiva sui rifiuti 2008/98 e cioè la prevenzione. È quindi indispensabile che il trattamento delle acque di scarico e dei fanghi sia ripensato in modo che la produzione di questi ultimi sia minimizzata. Sono già numerosi gli esempi in letteratura di interventi mirati sulla linea acque per stressare la biomassa in modo che il processo catabolico (consumo di substrato) prevalga su quello anabolico (produzione di nuova biomassa). I processi finora brevettati hanno l'obiettivo di produrre un danneggiamento della membrana cellulare tale che i microrganismi siano costretti a consumare energia e substrato per la ricostituzione della membrana stessa, rallentando così la crescita. Questi processi si basano su trattamenti termici o enzimatici o su alternanza di fasi aerobica e anaerobica. I primi risultati appaiono interessanti anche se l'applicazione su scala nazionale è scarsa. Meritano poi attenzione, per come trattato in fase di laboratorio e successivamente sull'impianto, gli interventi in linea fanghi volti al miglioramento delle prestazioni della digestione anaerobica e delle caratteristiche di stabilità dei fanghi. Tali obiettivi sono stati conseguiti mediante un'azione di distruzione del fiocco e della membrana cellulare per accelerare il processo di idrolisi. Sono stati applicati al riguardo processi termici e processi meccanici, tra i quali si è senz'altro affermato il trattamento di disintegrazione con ultrasuoni, che a differenza degli altri pretrattamenti ha comportato un risparmio energetico di circa il 60% dei consumi preventivabili.

Impianto di Depurazione Cropani (CZ).

L'impianto si sviluppa su n. 2 linee per il trattamento delle acque reflue, delle quali per l'attività di ricerca si è monitorata la linea più datata.

La struttura è in calcestruzzo, realizzata con pareti perimetrali di 0.25 metri il tutto poggiato su un basamento sempre in calcestruzzo dello spessore di 0.25 metri.



CAPITOLO III

Metodologia di Ricerca

Definizione ed implementazione di innovazione nel processo

Lo studio e l'analisi degli impianti di depurazione rivestono particolare attenzione nella società, perché trattano tematiche delicate come la salute e la salubrità degli ambienti, ultimamente posti sotto la lente di ingrandimento con la riforma del D.lgs. 152/06 con l'inasprimento delle sanzioni, ma anche e soprattutto il vivere comune e la qualità della vita. Per questi motivi, e per tanti altri non meno importanti, la ricerca in ambito della depurazione deve essere condotta con attenzione e parsimonia seguendo regole precise e rispettando codici di comportamento alquanto restrittivi. Al fine di garantire tutte le dovute condizioni il lavoro di ricerca si è suddiviso in attività complementari, in seguito meglio specificate, che hanno sviluppato insieme il lavoro di ricerca. La prima attività svolta all'interno del depuratore di Cropani Marina, è stata *primum* quella di investigare la struttura con tecniche non distruttive, capaci di verificare la bontà strutturale dell'impianto, e *deinde* di verificare la presenza di dissipazione di energia sotto forma di calore. Svolta una intensa campagna di misure, si è affrontato il problema realizzando un Data Base di valori costituiti dai consumi energetici monitorati in 1 (un) mese, al fine di progettare con tecniche soft computing un sistema previsionale per il consumo della corrente elettrica. Infine si è realizzato un sistema integrato software/hardware in grado di monitorare i dati in *real time* e confrontarli con l'algoritmo previsionale, al fine di allertare il gestore sui consumi energetici. Prima di entrare nello specifico sarebbe opportuno introdurre le tecniche utilizzate per la ricerca.

Prove Non Distruttive - Termografia

Nella fase preliminare del progetto di ricerca, si è voluto effettuare uno studio ed un'analisi utilizzando le cosiddette prove non distruttive e più nello specifico si è utilizzata l'analisi termografica. Essa è stata

determinante ed essenziale per la prosecuzione del piano di lavoro, principalmente per due motivi: in primis si è effettuato un controllo diagnostico/ strutturale preciso ed efficiente, in modo da riscontrare le eventuali localizzazioni di deterioramenti e crepe strutturali, che naturalmente provocherebbero notevoli dispersioni termiche su tutto l'impianto, causando, di conseguenza, un aumento notevole di consumi energetici e naturalmente andando ad inficiare sugli interventi atti ad abbassare gli stessi consumi; l'altro motivo, non meno importante, per non alterare le componenti e di non compromettere il regolare funzionamento dell'impianto di depurazione.

I controlli non distruttivi (CND) sono il complesso di esami, prove e rilievi condotti impiegando metodi che non alterano il materiale e non richiedono la distruzione o l'asportazione di campioni dalla struttura in esame, finalizzati alla ricerca e identificazione di difetti (cricche) della struttura stessa. Cricche e difetti di varia natura possono influenzare in modo devastante le prestazioni di componenti e strutture a tal punto che la loro individuazione è parte essenziale del controllo di qualità in tutti i campi dell'ingegneria.

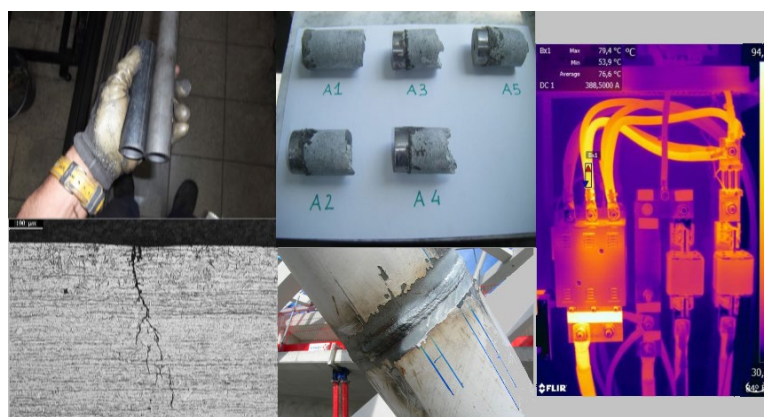


fig. 9. Principali difetti presenti nei materiali.

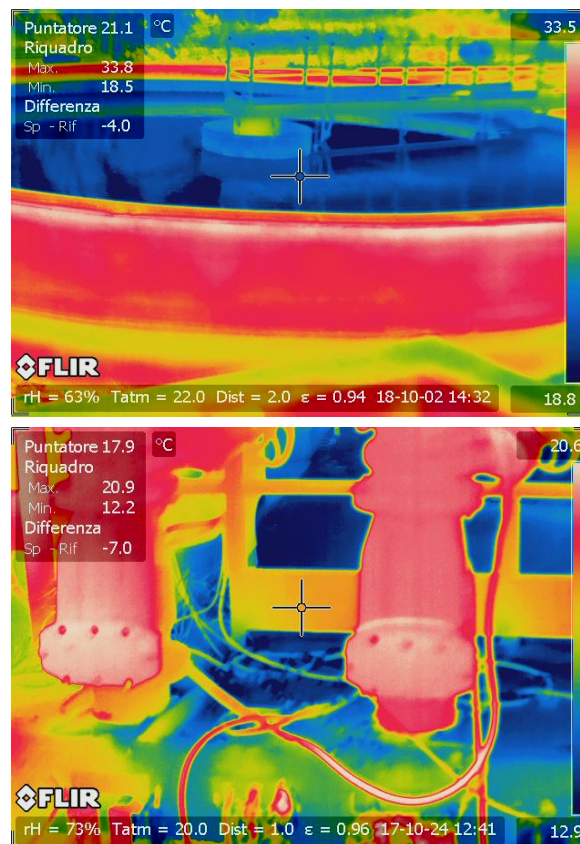
È evidente quale sia il grande vantaggio dei metodi di controllo non distruttivo. Infatti questi permettono non solo di non alterare il materiale e di evitare l'asportazione o la fabbricazione di campioni, ma permettono inoltre di ispezionare, controllare ed eventualmente scartare il prodotto lungo tutto l'arco della produzione, non semplicemente a prodotto terminato (es. controllo dei semilavorati prima che da essi vengano realizzati i prodotti finiti), riducendo i costi di produzione. Tra i campi applicativi, molto importante, è quello industriale in cui ogni prodotto di importanza critica (travi per edilizia, viti di sostegno, componenti aeronautici, componenti

automobilistici, corpi a pressione) deve essere controllato per la verifica della sua integrità e conformità alle norme vigenti. È noto infatti che una piccola cricca superficiale, innocua in condizioni normali, se sottoposta a sollecitazioni da fatica, cresce costantemente di dimensioni fino a portare a rottura il componente.

Le metodologie di controllo non distruttivo sono varie e ognuna di esse si adatta, per caratteristiche o per tipo di strumentazione, ad essere utilizzata con efficacia nelle diverse situazioni, a seconda delle caratteristiche del prodotto da analizzare.

Il metodo utilizzato per la mappatura energetica dell'impianto è la TERMOGRAFIA, che è una tecnica di analisi non distruttiva che si basa sull'acquisizione di immagini nell'infrarosso. Esistono due modalità di applicazione della termografia: la termografia per telerilevamento e la termografia a contatto. La termografia per telerilevamento trova impiego principalmente in edilizia, mentre la termografia a contatto si basa sull'utilizzo di rivelatori a cristalli liquidi.

fig. 10. Estratti di Immagini Termografiche sull'Impianto di Depurazione di Cropani.



Con il termine termografia si intende la visualizzazione bidimensionale della misura di irraggiamento. Attraverso l'utilizzo di una termocamera (strumento per eseguire controlli di tipo

termografico) si eseguono controlli non distruttivi e non intrusivi. Le termocamere rilevano le radiazioni nel campo dell'infrarosso dello spettro elettromagnetico e compiono misure correlate con l'emissione di queste radiazioni. Questo strumento è in grado di rilevare le temperature dei corpi analizzati attraverso la misurazione dell'intensità di radiazione infrarossa emessa dal corpo in esame. Tutti gli oggetti ad una temperatura superiore allo zero assoluto emettono radiazioni nel campo dell'infrarosso. La termografia permette di visualizzare valori assoluti e variazioni di temperatura degli oggetti, indipendentemente dalla loro illuminazione nel campo del visibile. La quantità di radiazioni emessa aumenta proporzionalmente alla quarta potenza della temperatura assoluta di un oggetto.

La correlazione tra irraggiamento e temperatura è fornita dalla Legge di Stefan-Boltzmann (equazione 3.1):

$$q = \sigma \varepsilon T^4 \quad (3.1)$$

ove σ è la costante di Stefan-Boltzmann e vale $5,6703 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$, ε è l'emissività della superficie emittente (variabile tra i limiti teorici 0 e 1) e T è la sua temperatura assoluta. La termografia permette l'individuazione di anomalie nell'emissione dell'energia e quindi, a parità di emissività, di anomalie termiche. Il metodo termografico trova oggi applicazione in numerosi settori: siderurgia, edilizia, veterinaria, industria chimica, beni culturali, aeronautica, automotive, protezione dell'ambiente. Eseguire indagini termografica è vantaggioso per i motivi nel seguito riportati. Non è necessario mettere fuori servizio gli impianti durante l'indagine termografica poiché l'ispezione non è invasiva e non interferisce con il funzionamento degli impianti.

Tutte le anomalie riscontrate possono venire memorizzate come immagini termografiche sulla termocamera e scaricate su PC con un apposito programma.

Si è in grado di fornire una relazione particolareggiata sulle anomalie riscontrate con allegate immagini termografiche con analisi mediante un software dedicato. La termografia è tra le metodiche non distruttive maggiormente utilizzate nella diagnostica delle patologie edilizie. Infatti, tutti gli edifici, anche se realizzati a regola d'arte, sono soggetti a degrado a causa dell'invecchiamento dei materiali e della prolungata mancanza di manutenzione.

Per una corretta analisi dello stato di degrado di un manufatto, spesso la termografia viene affiancata ad interventi distruttivi quali il prelievo di campioni per prove fisico-chimiche da effettuare in laboratorio; in alcuni casi viene utilizzato come unico metodo di indagine.

La termografia, come tutte le altre prove non distruttive consente:

- ✓ Di poter operare all'interno degli edifici senza dover sospendere le normali attività, limitando al minimo i disagi per gli abitanti;
- ✓ Di evitare ulteriori traumi a strutture dissestate, limitando il numero dei saggi distruttivi ai punti realmente rappresentativi per la formulazione del quadro diagnostico generale.

Quando si effettua una indagine termografica è importante stabilire a priori delle condizioni ben precise perché i risultati ottenuti sono diversi se si sceglie un approccio piuttosto che un altro.

Ogni corpo la cui temperatura è superiore allo zero assoluto emette energia sotto forma di onde elettromagnetiche. In realtà però questa non è l'unica aliquota energetica proveniente da un corpo, come si può osservare nella figura fig. 11.

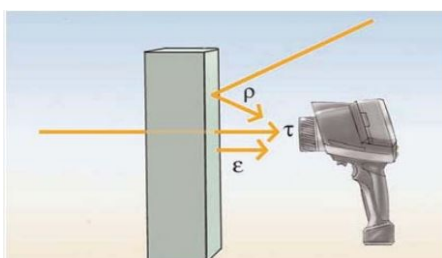


fig. 11. Rappresentazione di riflessione, trasmissione e riflessione dell'energia da parte di un corpo.

Un corpo può emettere (ϵ), riflettere (p) e/o trasmettere (τ) energia e il fatto che tali contributi siano o meno presenti o comunque più o meno trascurabili è da attribuire alle condizioni in cui l'oggetto è stato esaminato.

In generale, se l'oggetto in esame non viene riscaldato artificialmente, significa che emetterà una certa energia proporzionale alla temperatura alla quale si trova. In tal caso si sta effettuando una indagine termografica passiva ovvero priva di sollecitazioni esterne. Si analizza la superficie così come essa si presenta al momento dell'indagine. Questo caso è molto frequente in indagini che riguardano elementi esterni di edifici quali ad esempio terrazze di copertura e pareti. Normalmente tali indagini si effettuano sfruttando il soleggiamento diretto ed analizzando il transitorio termico durante l'indagine. Nel momento in cui si fornisce energia all'oggetto la risposta termica di quest'ultimo sarà amplificata, nel senso che anche altri contributi energetici provenienti da quel corpo potranno essere misurati. Tutto ciò comporta una acquisizione di informazioni più completa perché si studia il comportamento dell'oggetto in presenza di sollecitazioni esterne differenti. In questo caso si parla di indagine termografica attiva. L'elemento da indagare viene riscaldato onde incrementare la risposta termografica e, contestualmente, attivare i

flussi di calore che consentono di ottenere diverse risposte dagli elementi a diversa capacità termica.

Si distinguono due tipologie di analisi attiva. Se la lampada irradia l'oggetto nella stessa direzione e nello stesso verso della vista della termocamera, si parla di indagine attiva con modalità di riscaldamento frontale. Se la lampada è posta di fronte alla termocamera e dalla parte opposta rispetto all'oggetto, si sta effettuando una indagine attiva con modalità di riscaldamento opposta alla visuale.

Per quanto sopra, la termografia è influenzata dalle condizioni ambientali e climatiche del luogo in cui si opera.

Pertanto occorre rispettare alcune regole generali per ottenere risultati corretti:

- ✓ Occorre operare in assenza di irraggiamento solare, meglio se dopo il tramonto quando la struttura da analizzare è in fase di raffreddamento;
- ✓ Occorre operare in assenza di pioggia e di vento.

La temperatura, l'umidità e la velocità del vento influenzano la qualità dei risultati, in quanto essi modificano le modalità con cui avviene lo scambio termico tra materiali e l'ambiente circostante. Pertanto è necessario avere un controllo strumentale di questi fattori. È necessario inoltre che a cavallo della struttura vi sia uno sbalzo termico di almeno 10 °C al fine di apprezzare sui termogrammi le anomalie termiche eventualmente presenti. È importante infine tenere in considerazione la presenza di sorgenti calde, quali tubazioni non coibentate o elementi scaldanti, che possono influenzare la distribuzione di temperatura sui componenti l'involucro, e i riflessi provenienti da altre superfici che potrebbero essere scambiati per difetti della struttura. A partire dalla radiazione rilevata si ottengono dunque delle mappe di temperatura delle superfici esposte spesso utilizzate a fini scientifici o anche militari. Le termocamere si dividono in radiometriche e non radiometriche. Le prime consentono di misurare il valore di temperatura assoluto di ogni punto dell'immagine. L'immagine, infatti, è costruita su una matrice di un certo numero di pixel per un certo numero di righe. L'elettronica dello strumento rileva rapidamente il valore di energia immagazzinata da ogni singolo pixel e genera un'immagine, in bianco e nero o in falsi colori, dell'oggetto osservato. Le caratteristiche tecniche che distinguono tra loro le termocamere sono nel seguito riportate.

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

Campo Spettrale	<p>VIR: Infrarosso vicino al visibile, non termometrico utilizzato per fotografia IR e rifletto grafia;</p> <p>SW: Infrarosso onda corta, adatto a misure di temperature elevate;</p> <p>MW: Infrarosso medio, utilizzato tipicamente come confronto per altre frequenze per l'identificazione di oggetti o di gas;</p> <p>LW: Infrarosso lontano, la banda più comunemente utilizzata adatta alle misure vicine alle temperature ambientali utilizzata in tutte le applicazioni terrestri;</p> <p>XLW: Infrarosso verso le microonde: adatta per l'osservazione di temperature inferiori a 250 K, utilizzata per osservazioni astronomiche.</p>
Il Tipo di Sensore	<p>Il tipo di sensore influenza direttamente tutte le caratteristiche della termocamera. Per applicazioni comuni è attualmente utilizzato un sensore di tipo microbolometrico a matrice piana, ma esistono anche sensori di maggiori prestazioni a matrice singola (scansione meccanica) o a matrice di punti. I sensori possono essere sia non raffreddati che raffreddati (in genere con celle peltier o pompa stirling). I sensori raffreddati sono utilizzati per applicazioni di ricerca e sviluppo e hanno sensibilità termica superiore rispetto ai microbolometri non raffreddati. Il materiale costituente il sensore influenza la sensibilità termica della termocamera, i sensori più comuni sono o in silicio amorfo o in ossido di vanadio, quest'ultimo ha una migliore qualità rispetto al silicio amorfo (che ha anche un tempo di vita medio più basso).</p>
La Risoluzione Geometrica	<p>La risoluzione geometrica della termocamera influenza la qualità dell'informazione acquisita. Esistono termocamere per le seguenti risoluzioni: a) 4 x 4 Pixel: adatte a sostituire un pirometro ottico; b) da 120x140 a 160x160 pixel: termocamere adatte a misure indicative nella manutenzione predittiva; c) da 240x240 a 324x324 pixel: termocamere per manutenzione e la maggior parte delle applicazioni; d) da 500x500 e superiori: termocamere ad alta risoluzione.</p>
La Minima Sensibilità	<p>Capacità di distinguere una minima differenza di temperatura tra 2 punti adiacenti, direttamente influenzata dalla catena di misura sensore, elettronica di controllo.</p>
La Frequenza di Acquisizione	<p>In funzione dell'applicazione sono disponibili termocamere con caratteristiche differenti:</p>

- ✓ Inferiore a 33Hz: termocamere in grado di analizzare fenomeni statici non adatte a misurazioni in ambito di manutenzione meccanica o con organi rotanti in movimento;
- ✓ Da 33Hz a 60 Hz: termocamere per analisi di eventi brevi e rapidi; da 60Hz a 2KHz: termocamere per analisi particolari come lockin, analisi strutture.

La frequenza di acquisizione è un parametro fondamentale nell'utilizzo della termocamera, se si cerca di misurare la temperatura di un oggetto in movimento (o ugualmente l'operatore muove lo strumento durante la misurazione) e lo strumento non ha una frequenza di acquisizione sufficiente, si ha un fenomeno di "smearing" sull'immagine che impedisce di avere una misura di temperatura accurata. A parità di costo sono sicuramente più convenienti le termocamere con frequenza di acquisizione uguale o superiore ai 60 Hz, perché ricoprono la maggior parte delle applicazioni.

Con le termocamere è possibile misurare la temperatura in ogni singolo punto dell'immagine ma bisogna inserire nello strumento (o nei software di elaborazione in post processing) due parametri, emissività e temperatura ambiente (o riflessa) che permettono di ottenere la temperatura corretta.

Alcune termocamere incorporano molte funzionalità per facilitare l'uso dello strumento in ambienti industriali e civili: possibilità di memorizzare commenti di testo, commenti vocali, fotografie nello spettro del visibile.

La fotocamera termografica misura e visualizza le radiazioni infrarosse emesse dagli oggetti. Per il fatto che la radiazione è una funzione della temperatura superficiale degli oggetti, è possibile per la fotocamera calcolare e visualizzare questa temperatura.

Tuttavia, la radiazione rilevata dalla telecamera non è unicamente dipendente dalla temperatura degli oggetti, ma è anche determinata dall'emissività. Inoltre, anche la radiazione originata dall'ambiente circostante viene riflessa sull'oggetto. La radiazione derivante dall'oggetto e la radiazione riflessa sono influenzate dall'assorbimento da parte dell'atmosfera. Per misurare accuratamente la temperatura è quindi necessario compensare gli effetti di un certo numero di sorgenti di radiazioni.

Nella misura della temperatura assoluta sono da considerare molteplici parametri quali: riflessioni delle superfici, angolo di misura, umidità,

La Misura della Temperatura

temperatura ambiente ed emissività della superficie misurata. Alcuni di essi possono influenzare in modo importante i risultati.

Emissività

Il parametro più importante dell'oggetto in analisi da impostare correttamente è l'emissività che rappresenta la misura di quanta radiazione è emessa dall'oggetto comparata a quella che emetterebbe se fosse un corpo nero perfetto.

Normalmente gli oggetti presentano emissività che vanno approssimativamente da 0.1 a 0.95. L'emissività di una superficie molto lucida (specchio) scende sotto 0.1, mentre una superficie ossidata o pitturata ha un'emissività molto maggiore. Vernici a olio, senza colore nello spettro visibile, hanno un'emissività sopra 0.9 nell'infrarosso. I metalli non ossidati rappresentano un caso estremo di opacità quasi perfetta e di elevata riflettività speculare, la quale non varia significativamente con la lunghezza d'onda. Di conseguenza, l'emissività dei metalli risulta bassa ed aumenta unicamente con la temperatura.

Temperatura Ambiente

Questo parametro viene utilizzato per compensare la radiazione riflessa sull'oggetto e la radiazione emessa dall'atmosfera tra la fotocamera e l'oggetto. Se l'emissività è bassa, la distanza elevata e la temperatura dell'oggetto relativamente prossima a quella dell'ambiente circostante, sarà importante effettuare una corretta regolazione e compensazione per la temperatura dell'ambiente circostante.

Distanza ed umidità relativa



fig. 12. Termocamera Flir P620.

La distanza corrisponde a quella tra la superficie dell'oggetto e la lente frontale della termocamera. Questo parametro viene utilizzato per correggere l'assorbimento della radiazione tra l'oggetto e la termocamera e la riduzione di trasmissività causata dalla distanza. La termocamera è anche in grado di compensare l'influsso dell'umidità dell'aria sulla trasmissività. Per fare questo è necessario regolare l'umidità relativa sul giusto valore. Per distanze brevi e umidità normale, l'umidità relativa può in genere essere regolata su un valore indicativo pari a 50%.

La termocamera utilizzata è una **Flir P620** ad alta risoluzione (640x480), con bolometro miniaturizzato (sensore infrarossi) sensibile alla radiazione infrarossa LWIR detta di onda lunga (7-13 micrometri) e frequenza di acquisizione delle immagini pari a 30Hz. L'analisi termografica dell'impianto permette di calcolare la temperatura puntuale senza intaccare la struttura e da ciò poter ricavare l'Energia

dissipata sull'impianto. Sviluppate le indagini si passa alla definizione del data base, nel quale è presente la temperatura puntuale delle zone oggetto di indagine e l'Energia dissipata durante il processo.

Le crepe sulla superficie del calcestruzzo sono una delle prime indicazioni di degrado della struttura che è fondamentale per la manutenzione e l'esposizione continua porterà a gravi danni all'ambiente. L'ispezione manuale è il metodo acclamato per l'ispezione delle fessure. Nell'ispezione manuale, lo schizzo della fessura viene preparato manualmente e vengono rilevate le condizioni delle irregolarità. Poiché l'approccio manuale dipende completamente dalla conoscenza e dall'esperienza dello specialista, non ha obiettività nell'analisi quantitativa. Pertanto, il rilevamento automatico delle crepe basato su immagini viene proposto come sostituzione. La letteratura presenta diverse tecniche per identificare automaticamente la fessura e la sua profondità utilizzando tecniche di elaborazione delle immagini. La termografia con lo studio delle immagini IR è un'ottima alternativa nell'individuazione e nello studio delle crepe all'interno di un corpo solido. L'analisi viene fornita in base alle tecniche di elaborazione delle immagini, agli obiettivi, al livello di precisione, al livello di errore e ai set di dati dell'immagine. Per poter fornire dati attendibili e più precisi al fine di realizzare ed implementare il modello numerico realizzato tramite software, si è effettuata nel depuratore oggetto di ricerca una campagna di misure, mediante apparecchiatura termografica, relativa alle prestazioni termiche dell'impianto di depurazione di Cropani (CZ) di recente realizzazione.

Campagna di Misura

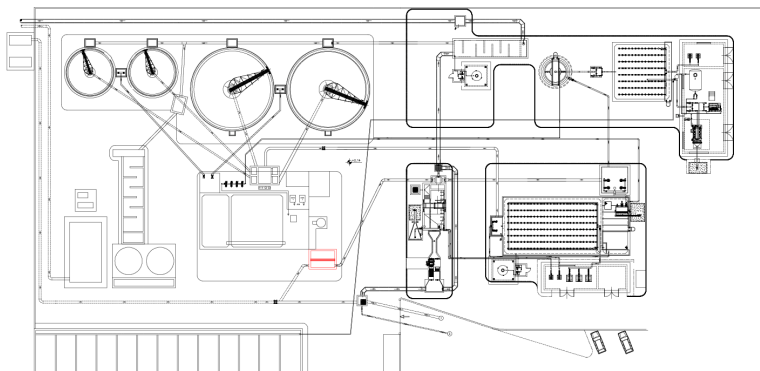


fig. 13. Impianto di Depurazione Cropani.

Le opere di ammodernamento dell’impianto di depurazione di Cropani sono iniziate nel 2015 e tuttora in fase di terminazione. L’impianto si sviluppa su n. 2 linee per il trattamento delle acque reflue, delle quali per l’attività di ricerca si è monitorata la linea più datata.

La struttura è in calcestruzzo, realizzata con pareti perimetrali di 0.25 metri il tutto poggiato su un basamento sempre in calcestruzzo dello spessore di 0.25 metri. Il conglomerato cementizio, come tutti i materiali lapidei, ha una buona resistenza a compressione, cioè si comporta discretamente quando è sottoposto a sforzi di compressione, mentre il suo comportamento agli sforzi di trazione diretta o di trazione per flessione è notevolmente scadente, per tale motivo, predisposto alla creazione di lesioni, dovute anche al ritiro del calcestruzzo causato dall’essiccamento in fase di asciugatura successivamente alla posa in opera. La campagna di misura termografica è stata eseguita con lo scopo di verificare i ponti termici presenti, il grado di integrità della struttura all’interno delle pareti prospicienti l’esterno e ambienti a contatto con l’acqua reflua presente. L’obiettivo della campagna è quello di andare a valutare come varia la temperatura puntuale nella struttura in calcestruzzo. Le misure sono state effettuate nell’arco di due anni, e precisamente nel mese di Ottobre del 2017 e nel mese di Ottobre del 2018 su tutto l’impianto di depurazione di Cropani (CZ).

fig. 14. Canale di adduzione

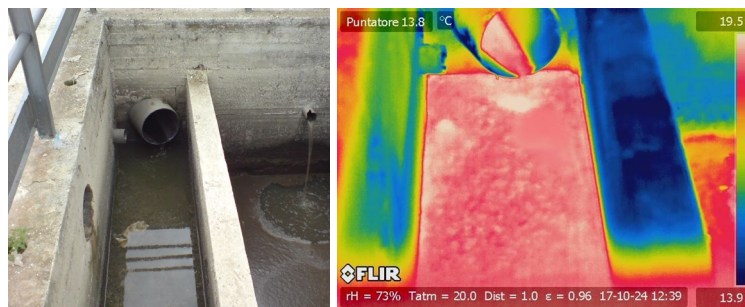
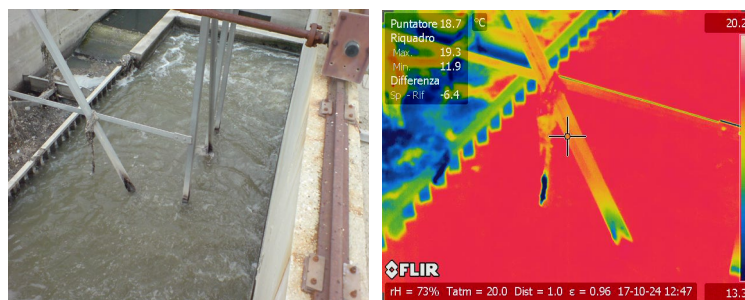


fig. 15. Dissabbiatura - Disoleatura.



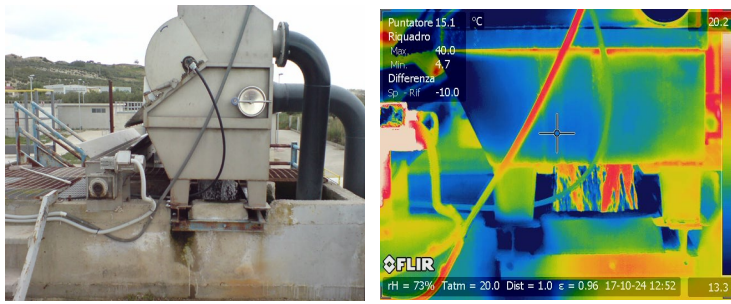


fig. 16. Grigliatura - Dissabbiatura - Disoleatura.



fig. 17. Vasche di ossidazione

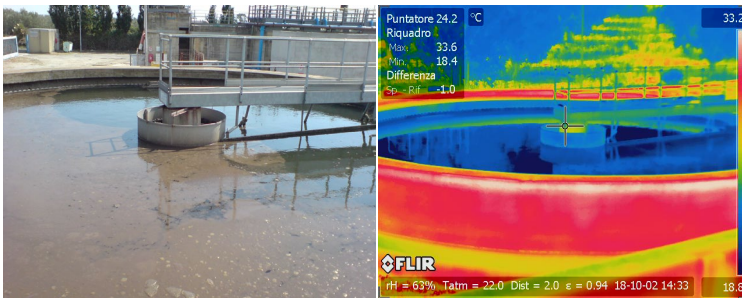


fig. 18. Sedimentazione

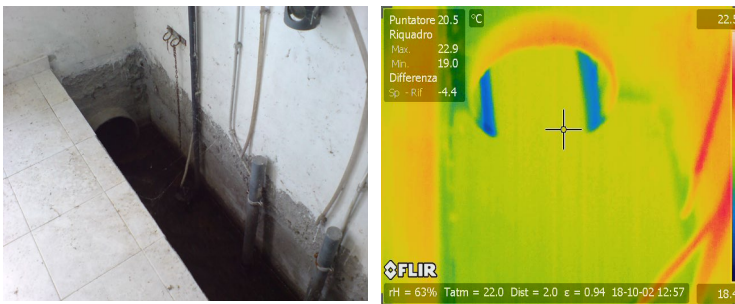


fig. 19. Canale finale.

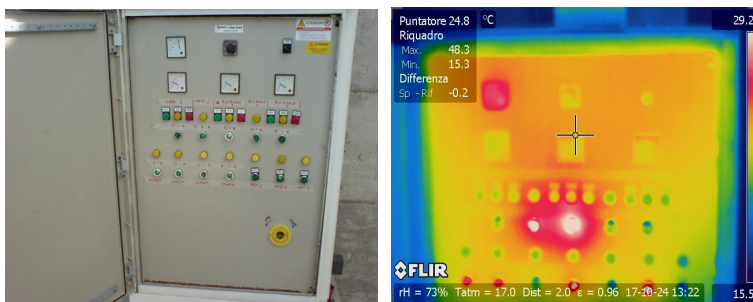


fig. 20. Quadro Elettrico Generale

21. Quadro Elettrico Generale.

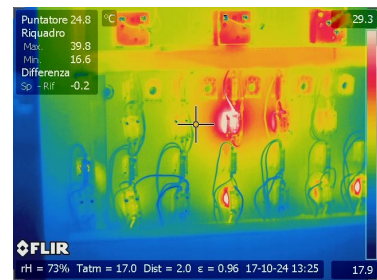
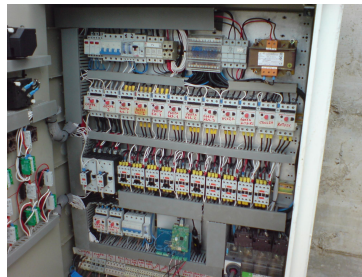


fig. 22. Quadro Elettrico Generale.

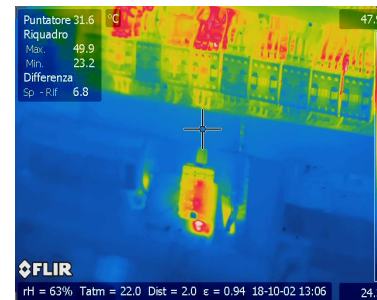
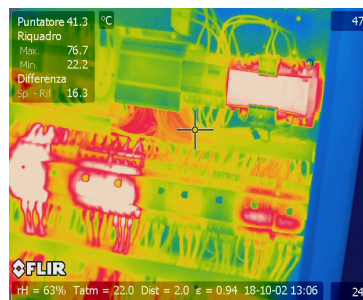


fig. 23. Compressori.



Tecniche di Soft Computing: Introduzione

L'analisi termografica condotta nella campagna di misura ha confermato la validità del modello matematico implementato, focalizzando l'attenzione progettuale e manutentiva sulle zone più soggette a stress termico. Lo studio svolto ha caratterizzato non solo l'accuratezza del modello progettato ma ha, anche, costruito un robusto data base, necessario per poter implementare un sistema previsionale capace di aiutare l'operatore a prendere decisioni prima che si verifichi un processo irreversibile. Per poter sviluppare questo sistema è necessario l'utilizzo di tecniche soft computing che si prefiggono di valutare, decidere, controllare e calcolare in un ambito impreciso e vago attività sulla base della loro esperienza. Il soft computing si avvale delle caratteristiche delle sue tre principali branche, ovvero:

- ✓ La possibilità di modellare e di controllare sistemi incerti e complessi, nonché di rappresentare la conoscenza in maniera efficiente attraverso le

descrizioni linguistiche tipiche della teoria degli insiemi fuzzy;

- ✓ La capacità d'ottimizzazione degli algoritmi genetici la cui computazione si ispira alle leggi di selezione e mutazione tipiche degli organismi viventi;
- ✓ La capacità di apprendere complesse relazioni funzionali delle reti neurali, ispirate a quelle proprie dei tessuti cerebrali.

Nello specifico e per quanto di competenza della tematica trattata, si procederà con l'implementazione di un insieme di algoritmi di soft computing, capaci di fornire in uscita un valore previsionale riferito alla **previsione del carico è necessaria per conoscere in anticipo la richiesta di energia elettrica**. Il segnale in uscita del sistema soft computing sarà elaborato ed inviato, attraverso canali comunicativi, ad un sistema hardware, che avrà il compito di registrare il dato confrontarlo con il precedente e di informare l'operatore dei possibili consumi futuri. Questo processo comporterà agli addetti ai lavori un risparmio temporale ed economico e farà sì che l'impianto possa essere previsionalmente monitorato dal punto di vista energetico. Prima di entrare nel dettaglio di quanto suesposto sarebbe opportuno fornire una breve descrizione della tecnica soft computing scelta e del sistema hardware realizzato. Dopo aver brevemente discusso il comportamento e le modalità di processamento dei segnali termografici, scaturenti dal canale di adduzione del depuratore di Cropani, cercheremo di spiegare com'è costituita una rete neurale e quanto sarà utile ai fini del nostro lavoro.

Una Neural Network può essere vista come un sistema in grado di dare una risposta ad una domanda (fornire un output in risposta ad un certo tipo di input). Un neurone è un'unità di elaborazione dell'informazione e rappresenta la componente fondamentale di una rete neurale. La combinazione input/output, realizzata mediante funzione di attivazione della rete, non viene programmata ma ottenuta attraverso un processo di addestramento con dati empirici. In pratica la rete apprende la funzione che lega un'uscita con un ingresso attraverso la presentazione di esempi corretti di coppie input/output. Per ogni ingresso presentato alla rete durante il processo di apprendimento, questa fornisce un'uscita che si discosta di un determinato margine di errore all'uscita desiderata. In base all'algoritmo di addestramento usato, successivamente, verranno modificati i parametri che

Rete Neurale

costituiscono la rete, bias e weight, in modo tale da far tendere l'uscita ottenuta a quella desiderata. Ripetendo questo ciclo per n volte, e misurando in ognuno la “temperatura” tra uscita ottenuta e quella da ottenere, l'algoritmo modifica il valore dei parametri dei blocchi che compongono la rete, fin quando non si raggiunge un errore accettabile, da noi valutato. In questo modo l'algoritmo arriva a soddisfare tutti gli esempi presentati man mano. Una volta ottenuto l'output desiderato si avranno i valori ottimali dei parametri della rete neurale. Come accennato, una rete neurale artificiale consiste in un insieme di semplici unità di elaborazioni operanti in parallelo dette neuroni collegati tra loro da collegamenti "pesati", allo stesso modo in cui lo sono i neuroni del cervello umano. Avendo caratteristiche sorprendentemente simili a quelle del cervello umano, come ad esempio la capacità di apprendere, la scarsa precisione associata ad alta elasticità di interpretazione dell'ingresso e quindi capacità di estrapolazione, le reti neurali, sono state utilizzate efficientemente come modello di classificazione in numerose applicazioni. Più precisamente, mentre un sistema programmato ha bisogno di un ingresso ben preciso per dare una risposta corretta, le reti neurali sono in grado di dare una risposta abbastanza corretta ad un ingresso parziale o impreciso rispetto a quelli utilizzati negli esempi di addestramento. La motivazione che ha spinto all'utilizzo delle reti neurali per l'analisi termografica del canale di adduzione più di altre tecnologie computazionali, consiste nella possibilità di emulare processi di percezione e di riconoscimento proprio degli uomini, al fine di estrarre dettagliate informazioni dall'ambiente circostante. Nel caso in esame con l'utilizzo di reti neurali sarà possibile rilevare non solo la temperatura della struttura, ma anche tutti gli altri parametri necessari per effettuare una completa valutazione del sistema e la conseguente trasmissione in un sistema di monitoraggio della struttura oggetto di indagine non distruttiva.

L'elemento che costituisce le reti neurali, il neurone, è descritto da un modello matematico che cerca di riprodurre il comportamento del neurone biologico:

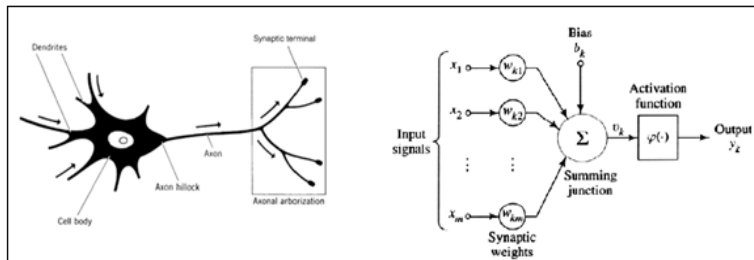


fig. 24. Rappresentazione schematica di un generico neurone con input scalare. "x1: xn" rappresentano gli ingressi, "yk" l'output. Inoltre "Wk1: Wkm" è il peso, "bk" è la cosiddetta bias, entrambi verranno determinati tramite addestramento della rete sulla base del target desiderato.

L'input è trasmesso al neurone da una connessione che ne amplifica o smorza il valore a seconda al weight w_k associato alla connessione.

Al blocco sommatore del neurone, indicato con Σ , giungono due addendi, $w_{km} * x_m$ e b_k . La somma è $v_k = w_{km} * x_m + b_k$, questa somma è l'argomento della funzione di trasferimento, indicata con $f(v_k)$. La funzione di trasferimento, che potrà essere a gradino, lineare o sigmoideale produce l'output y_k :

$$y_k = f(v_k) = f(w_{km} * x_m + b_k) \quad (3.2)$$

Il weight w_k ed il bias b_k sono i parametri modificabili del neurone. L'idea è che questi parametri possano essere scelti in modo che il neurone esibisca un comportamento utile per il nostro scopo.

Mentre il *weight* produce una compressione o una dilatazione della funzione di trasferimento, il *bias* produce una traslazione del grafico della funzione di trasferimento. Le più comuni funzioni di trasferimento sono: *PureLine*, *HardLine*, *TanSig*, *LogSig*.

Tra le varie classi di reti neurali si hanno *Percetron*, *Percetron multistrato*, *hopfield* e *back-propagation*, e proprio con quest'ultima che procederemo per il nostro lavoro.

Il comportamento della rete è fortemente legato alle connessioni tra gli elementi costituenti. Aggiustando il peso delle connessioni una rete neurale può imparare a svolgere particolari funzioni. Generalmente l'apprendimento avviene in modo che ad un particolare input sia associata una specifica uscita desiderata o *target*. Il peso delle connessioni viene modificato confrontando output e target, finché l'output della rete non si avvicina in modo soddisfacente al target. Tali output vengono poi trasmessi a successivi neuroni attraverso le giunzioni sinottiche; alcune di esse sono buone giunzioni quindi il segnale trasmesso è alto, mentre altre sono cattive giunzioni per cui il segnale trasmesso risulta più basso. L'efficienza delle giunzioni viene modellata considerando un fattore moltiplicativo (peso) per ciascun input del neurone. Infatti, una buona sinapsi avrà un peso maggiore di quello della sinapsi cattiva. In linea di principio, in una Rete Neurale, ogni unità può essere connessa con qualunque altra unità. Nella Rete

Neurale, quindi, un neurone calcola la somma pesata I , la confronta con un valore di soglia, se la somma risulta maggiore di tale soglia il neurone "si accende" e trasmette un output:

$$I = \sum_{i=1}^n w_i * x_i \quad (3.3)$$

Dove $w(i)$ rappresenta il peso i esimo.

L'uscita di un neurone è data dalla trasformazione dell'input I , tramite una *funzione di attivazione*. Analogamente quindi, ai neuroni biologici, la funzione d'attivazione ha due principali caratteristiche: deve tenere conto della soglia e non deve mai superare un livello di saturazione.

La procedura di apprendimento comporta la presentazione di un insieme di coppie di vettori *ingresso/uscita* desiderata. In particolare, il sistema usa il vettore d'ingresso per ricavarne uno di uscita e poi si confronta quest'ultimo con il vettore d'uscita desiderato. Se tra i due vettori non c'è nessuna differenza non ha luogo alcun apprendimento; diversamente, per ridurre la differenza o equivalentemente *l'errore* presente, vengono cambiati i valori dei pesi e delle rispettive basi.

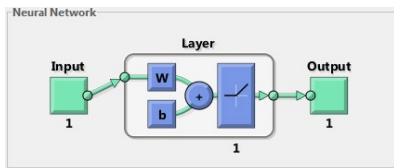


fig. 25. Rappresentazione schematica di un generico neurone con input vettoriale. Schema ottenuto dopo addestramento in ambiente Matlab. La figura è completa di funzione di attivazione, ingresso con peso, bias ed output.

Algoritmo di back propagation

L'algoritmo di *back propagation* è un algoritmo di apprendimento delle reti neurali. L'algoritmo confronta il valore in uscita del sistema con il valore desiderato (obiettivo). Sulla base della differenza così calcolata (errore), l'algoritmo modifica i pesi sinaptici della rete neurale, facendo convergere progressivamente il set dei valori di uscita verso quelli desiderati. Ad esempio, data una rete neurale con un solo nodo N e una sola entrata X , il sistema ha l'obiettivo di raggiungere un determinato livello di uscita Y_D . Al termine di ogni ciclo, l'algoritmo confronta il risultato ottenuto Y con quello desiderato Y_D e calcola un errore $Y_D - Y(e)$. Una retroazione (feedback) consente all'algoritmo di utilizzare l'errore per aggiustare il peso sinaptico p_t ed eseguire una nuova iterazione (back-propagation o propagazione all'indietro) Figura 26.

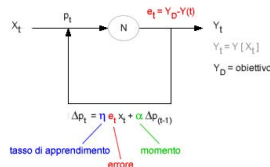
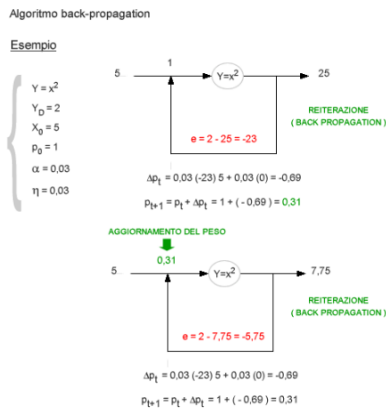


fig. 26. Funzionamento algoritmo back propagation.

L'aggiustamento del peso sinaptico è determinato dall'errore e da due parametri del sistema: il tasso di apprendimento e il momento. Entrambi i parametri possono variare da zero a uno (0 - 1). Il tasso di apprendimento influenza la velocità del processo apprendimento. Quanto più è elevato il tasso di apprendimento, vicino al valore massimo uno, tanto più veloce è il processo di apprendimento, in quanto sono più grandi le variazioni da apportare sul peso sinaptico.

Tuttavia, un tasso di apprendimento molto alto aumenta anche il rischio delle variazioni erratiche (oscillazioni del risultato) e, quindi, l'instabilità del sistema. Per ridurre le oscillazioni e favorire la convergenza dei risultati, nella formula di aggiustamento del peso sinaptico si utilizza un secondo parametro (α), detto momento, anch'esso compreso tra zero e uno (0-1). Nel seguente esempio è mostrato un processo dinamico di apprendimento dell' algoritmo a partire da una situazione iniziale ($x=5$). Nella situazione iniziale il peso sinaptico è fissato casualmente ed è pari al valore uno ($p=1$). In cinque reiteratezioni l'algoritmo modifica progressivamente il peso sinaptico p_t fino a raggiungere l'obiettivo desiderato ($Y_d=2$). Dopo la quinta iterazione la rete neurale è nuovamente stabile e il peso sinaptico permane costante al valore di equilibrio ($p_t=0,08$). Per semplicità espositiva ipotizziamo che il segnale in entrata resti costante ($x=5$) durante l'intero processo di aggiustamento del peso sinaptico (processo di apprendimento).



t	0	1	2	3	4
x_t	5	5	5	5	5
p_t	1	0,31	0,12	0,08	0,08
Y_t	25	7,75	2,92	2,09	2
Y_D	2	2	2	2	2
e	-23	-5,75	-0,92	-0,09	0
Δp_t	-0,69	-0,19	-0,03	0	0

$Y_t = Y_D$
OK

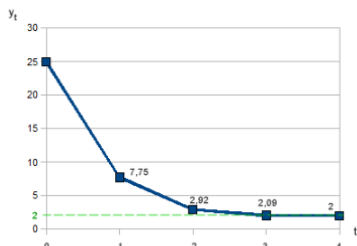


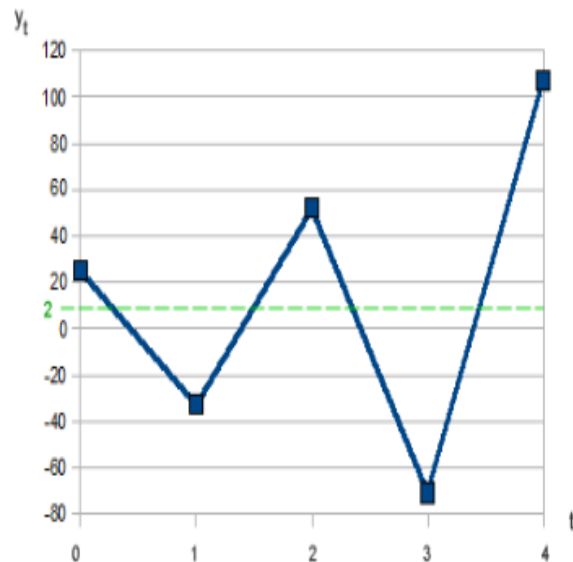
fig. 27. Esempio algoritmo back propagation.

Non è però detto che l'algoritmo raggiunga sempre le condizioni di equilibrio. Ad esempio, impostando un tasso di apprendimento più alto, a parità di condizioni il processo di aggiustamento diventa divergente e l'algoritmo non raggiunge l'equilibrio, poiché le oscillazioni diventano sempre più grandi.

t	0	1	2	3	4
x_t	5	5	5	5	5
p_t	1	-1,3	2,08	-2,82	4,28
y_t	25	-32,5	52,03	-70,5	107,08
y_D	2	2	2	2	2
e	-23	34,5	-50,03	72,5	-105,08
Δp_t	-2,3	3,38	-4,9	7,1	-10,29

$\eta = 0,03$

fig. 28. Esempio algoritmo back propagation.



Complessità dell'algoritmo. La complessità dell'algoritmo di back propagation cresce con la dimensione della rete neurale. Quando la rete neurale è composta da pochi neuroni si verifica il problema dell'*underfitting* e il processo di apprendimento della rete potrebbe essere inefficace. Viceversa, quando la rete è composta da molti neuroni si verifica il problema dell'*overfitting* facendo diventare più difficoltoso il processo di generalizzazione.

Le "Radial Basis Functions" (RBF) sono state introdotte per risolvere problemi di interpolazione multidimensionali (Davis, 1963). La tecnica di interpolazione RBF consiste nel rappresentare y come combinazione lineare di P funzioni di base che dipendono dalla distanza $\|x-x^p\|$, ossia

$$y(x) = \sum_{p=1}^P w_p \phi(\|x - x^p\|). \quad (3.4)$$

I coefficienti $w_p \in \mathbb{R}$ si dicono pesi e i punti $x^p \in \mathbb{R}^M$ (dati) si dicono centri. La gaussiana e la multiquadrica inversa sono funzioni localizzate ($\Phi(r) \rightarrow 0$ per $r \rightarrow \infty$), mentre la funzione multiquadrica è non locale ($\Phi(r) \rightarrow \infty$ per $r \rightarrow \infty$).

Utilizzando la condizione di interpolazione

$$y(x^p) = d^p \quad p = 1, \dots, P \quad (3.5)$$

si ottiene il sistema lineare in ω

$$\Phi \omega = d \quad (3.6)$$

dove Φ è la matrice $P \times P$ con elementi

$$\Phi_{ji} = \Phi(\|x^j - x^i\|) \quad (3.7)$$

La matrice Φ è la *matrice di interpolazione*.

La classe di funzioni C include la gaussiana e le multiquadriche.

La matrice Φ è anche definita positiva per la gaussiana e la multiquadrica inversa (Powell, '88).

La valutazione della qualità di una informazione è organizzata in base ad un target definito dalle normative e dalle caratteristiche degli impianti da monitorare.

Le modalità da seguire per giungere alla valutazione della qualità del dato possono comprendere l'utilizzo di stazioni di misurazione per le misure in siti fissi, per le misure indicative, le tecniche di modellizzazione e le tecniche di stima obiettiva da applicarsi. L'insieme delle stazioni di misurazione costituiscono la piattaforma di

**Radial basis
function (RBF)**

**Progettazione
Sistema Integrato**

monitoraggio. La valutazione dei valori monitorati indica le stazioni di misurazione della rete di misura utilizzate per le misurazioni in siti fissi e per le misurazioni indicative, le tecniche di modellizzazione e le tecniche di stima obiettiva da applicare rispetto al modello previsionale.

Occorre innanzitutto puntualizzare le seguenti definizioni utilizzate ai fini del presente lavoro di ricerca:

- a) Punto di misura: sito di misura relativo ad un singolo sensore di corrente;
- b) Stazione di monitoraggio: un sito dove sono presenti punti di misura o sono effettuati uno o più campionamenti all'interno di un'area;
- c) Punti fissi di misura aggiuntivi: sono i punti di misura derivanti dalle ulteriori necessità tecniche emerse durante la predisposizione del programma di monitoraggio;
- d) Rete primaria: i punti definiti sulla base della somma dei punti di misura in siti fissi derivanti dalle posizioni minime e dai punti fissi di misura aggiuntivi.

Conclusioni

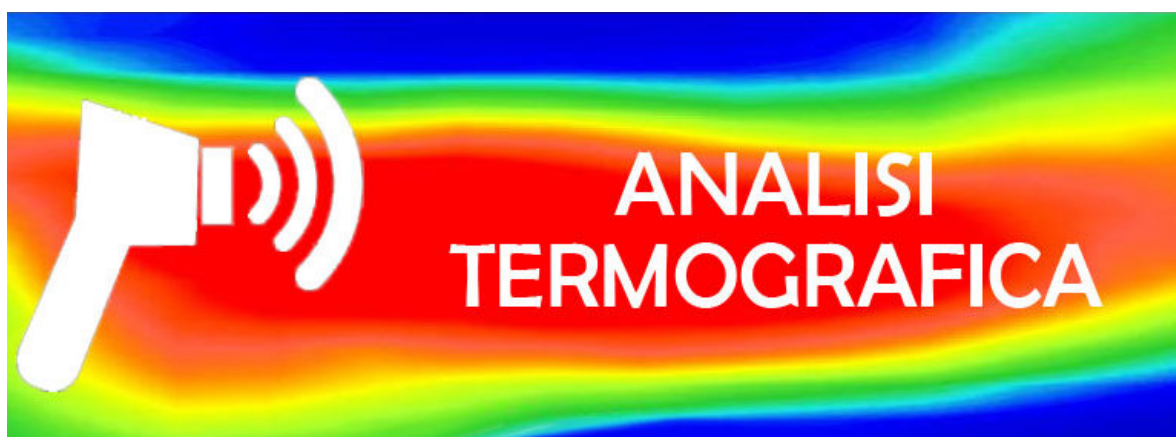
Il capitolo appena trattato ha avuto come linea guida l'analisi e la scelta di tecniche innovative per affrontare il problema del monitoraggio strutturale ed energetico dell'impianto di depurazione.

La scelta dell'indagine termografica è stata attentamente valutata e ponderata, al fine di non creare nell'impianto, in funzionamento durante le campagne di misure, possibili inconvenienti ed interruzioni al processo di depurazione. Le indagini prodotte hanno evinto la buona qualità della struttura, ed al contempo hanno evidenziato che non esistono punti e/o zone particolarmente soggette a stress termico. Da un'attenta analisi svolta durante la campagna di misura si è pensato di riutilizzare l'energia dissipata sotto forma di calore, attraverso un processo di *energy harvesting*. Infatti, le nuove tecnologie di energy harvesting stanno sfidando il modo in cui i progettisti possono fornire alimentazione a un sistema. Dato che i requisiti di alimentazione di sensori e collegamenti wireless diminuiscono, l'energy harvesting sta diventando un modo sempre più significativo di alimentare facilmente i dispositivi presenti nelle abitazioni, nelle fabbriche e anche nel corpo umano. Data l'importanza sopra descritta e considerando i costi/benefici si è disposto un progetto di ricerca, che sarà intrapreso al

termine del percorso di dottorato, in cui si riutilizzerà l'energia dovuta alla dissipazione di calore dei compressori durante il processo di immissioni dell'ossigeno nelle vasche di ossidazione. Il prototipo che si realizzerà sarà realizzato con celle di Peltier e collegato ad una serpentina riscaldante da utilizzare durante il processo della linea dei fanghi, per la riduzione della sostanza con metodologia ultrasonica.

Contestualmente si è deciso, possedendo una grande quantità di informazioni sui consumi energetici, di utilizzare tecniche soft computing capaci di predire i consumi energetici in un arco temporale di un mese. Tale scelta è stata giustificata dal fatto che per il gestore è fondamentale conoscere a priori i possibili risparmi e efficientare la meglio il processo di depurazione. La soluzione a questa richiesta è stata fornita dall'utilizzo di tre tecniche soft computing, come descritte nel capitolo, implementate con i dati memorizzati dal sistema integrato di monitoraggio prototipato, come nei capitoli successivi ampiamente descritto.

L'analisi termografica rappresenta uno strumento largamente utilizzato in campo edilizio ed impiantistico in quanto permette di rilevare, mediante indagine non distruttiva, tutte quelle anomalie non visibili ad occhio nudo. Nell'ambito del risparmio e dell'efficienza energetica in edilizia, risulta di fondamentale importanza la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio già esistente.



CAPITOLO IV Analisi Termografica

Analisi termografica puntuale sulla linea acque



fig. 29-a Canale di Adduzione.



fig. 29-b. Analisi Termografica Canale di Adduzione.

Una volta effettuata la campagna di misure con la termocamera, le rispettive immagini in infrarosso sono state analizzate mediante un programma software della FLIR che analizza la variazione di temperatura da punto a punto.

L’analisi termografica della struttura ha investigato le zone maggiormente soggette a variazioni termografiche, dovute all’interazione delle acque reflue con la struttura. Di conseguenza sono stati individuati i ponti termici dovuti al deflusso.

Nella fattispecie le situazioni “peggiori”, ove vi è una differenza maggiore fra le temperature superficiali sono state individuate in prossimità della:

- ✓ Parete Centrale del canale di adduzione in presenza di tubazione di ingresso acque reflue ove si verifica maggiormente il fenomeno di interazione sulla struttura.

Nell’indagine condotta sulla parete centrale si evince dalla prima indagine termografica effettuata la presenza di ponti termici in corrispondenza degli spigoli della struttura ed adiacenti il tubo di scolo. È da considerare importante, inoltre, la differenza di temperatura, esistente tra la struttura e le acque reflue. Grazie alla differenza di temperatura (ΔT) è possibile avere, quindi, un flusso di energia termica tra i due corpi e come evidenziato nella figura la struttura presenta variazioni termografiche rilevanti. Tale considerazione è validata dall’elaborazione termografica condotta con applicativo software ResearchIR Flir, nel quale si evince quanto rappresentato nelle figure sotto riportate

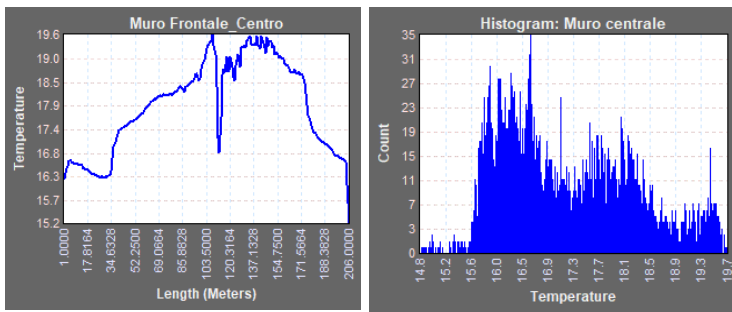


fig. 30 Grafico $\Delta Temp$.

fig. 31 Istogramma

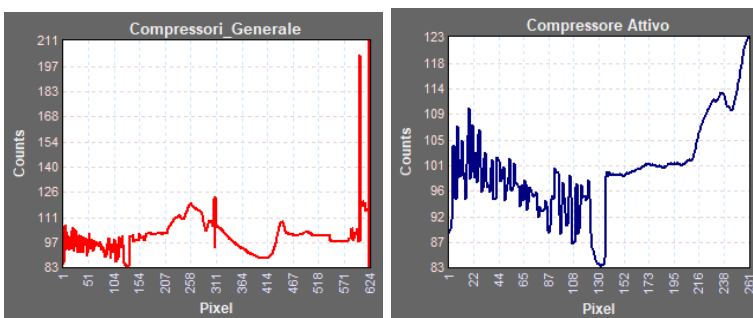
Come confermano le immagini elaborate con il software ResearchIR della Flir l'analisi puntuale della struttura oggetto di indagine evidenzia la presenza di brusche variazioni di temperatura in corrispondenza delle zone di contatto tra la struttura cementizia del canale di adduzione ed il tubo di scarico delle acque. Inoltre vi è la presenza di un indice di agitazione molecolare rilevante nell'intorno della struttura e la superficie del fango da trattare.

✓ Compressori



fig. 32. Compressori

Nell'indagine condotta sui compressori si deducono la presenza di ponti termici in corrispondenza della tubazione di deflusso in entrata delle acque reflue. La differenza di temperatura, esistente tra la struttura e le acque reflue determina il flusso di energia termica tra i due corpi e come evidenziato nella figura. La struttura presenta variazioni termografiche rilevanti in corrispondenza dei motori dei 2 compressori. La validazione delle considerazioni svolte è dimostrata nelle figure sotto riportate, nelle quali si riscontra quanto segue:



Come confermano le immagini elaborate con il software ResearchIR della Flir l’analisi puntuale della struttura oggetto di indagine conferma la presenza di brusche variazioni di temperatura in corrispondenza della parte di tubazione che conducono le acque nere alla vasca di ossidazione.

✓ Macchina per la grigliatura.

Nell’indagine condotta sulla stacciatura non si desumono presenze di rilevanti ponti termici, ma un evidente variazione della temperatura con un picco finale corrispondente al funzionamento degli stacci, ovvero nelle tele filtranti montate sul cilindro rotante. La validazione di quanto esposto è provata nelle figure sottostanti nelle quali si riscontra quanto segue:

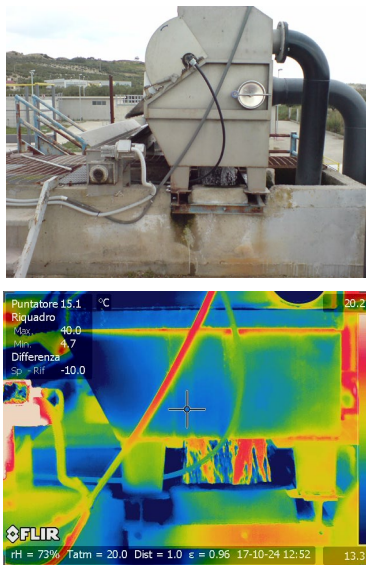
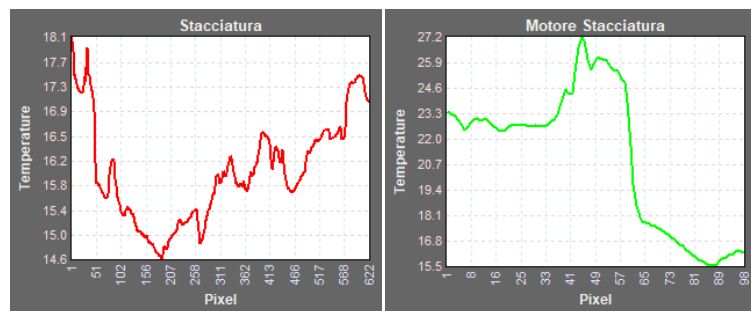


fig. 33. Stacciatura.



Come confermano le immagini elaborate con il software ResearchIR della Flir l’analisi puntuale della struttura oggetto di indagine conferma la presenza di lievi variazioni di temperatura in corrispondenza delle zone di maggiore sollecitazione termica.

Conclusioni

Come già previsto nel terzo capitolo le analisi puntuali condotte con software dedicato FLIR hanno evidenziato l’assenza di difetti particolarmente rilevanti sulla struttura e contestualmente la scelta di procedere con il processo di energy harvesting, solo in una fase successiva ed esclusivamente sui consumi dei compressori. L’analisi svolta è stata ulteriormente focalizzata su tre fasi del processo, ovvero il canale di adduzione, i compressori (oggetto di ulteriori investigazioni nei capitoli successivi) e la macchina per la stacciatura, particolarmente sollecitata durante il processo, e posizionata senza copertura.

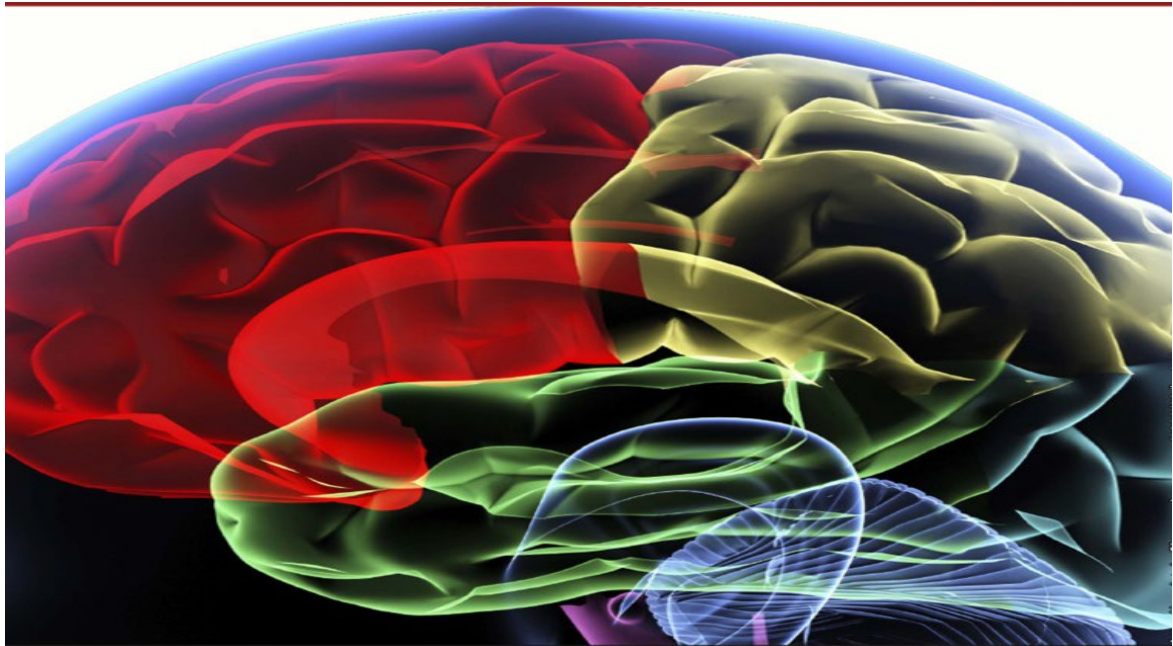
Da un punto di vista igro-termico, si è consapevoli che la tipologia costruttiva utilizzata rende lo stesso soggetto alla formazione di zone particolarmente sollecitate alla variazione di temperatura, il più delle volte non uniforme ed altamente degradante per la struttura stessa, dovuta alla presenza dei ponti termici causati dalle acque reflue.

Per questo motivo, in fase costruttiva, si dovrebbe prestare la massima cura ed attenzione (regola d'arte) nella realizzazione delle giunzioni tra pareti, tra pareti e base della struttura, tra parete e spigoli etc. Ciò significa che, per la tipologia costruttiva, andrebbero applicati accorgimenti atti a limitare le dispersioni termiche sopra descritte.

Dalla campagna di misure, si evince altresì, la presenza di sollecitazioni termografiche nella parete centrale del canale di adduzione, dove sono presenti i tubi di scolo delle acque reflue.

Infine, dalle analisi e misurazione effettuate, si evince che da un punto di vista strutturale l'impianto non presenti deformazioni o lesioni tali, da causare dispersioni termiche degne di nota. Lo studio ha evidenziato, altresì, l'individuazione di interventi innovativi sul sistema produttivo, necessari per ridurre il consumo energetico e per riutilizzare il calore dissipato nei macchinari presenti nel sistema depurativo.

Rete Neurale – Connessioni di neuroni cerebrali – Tecniche innovative di analisi previsionale.



CAPITOLO V Analisi Previsionale

Introduzione

Come esposto nei paragrafi precedenti, al fine di prevedere in anticipo i possibili consumi del sistema, si è pensato di realizzare un sistema che usi diverse tecniche soft computing. Partendo dalla semplice *Rete Neurale* con il compito di effettuare il primo screening delle informazioni componenti il Data Base. Successivamente per la sua semplicità e per la sua capacità di estrarre informazioni utili da esempi utilizzeremo l'algoritmo *back-propagation*. Infatti per la sua capacità di memorizzare implicitamente informazioni sotto forma di pesi di connessione e per la sua applicabilità a modelli valutati digitalmente o analogicamente, l'algoritmo *back-propagation* riesce a comprendere due fasi: una fase anticipatrice ed una fase di retroazione, da cui il termine *back-propagation* che appunto rappresenta il modo in cui è calcolato l'errore. Nella prima fase *feed-forward*, l'ingresso x viene presentato e propagato attraverso la rete multistrato, per calcolare il corretto valore d'uscita y per ciascuna unità d'uscita. La seconda fase *back-propagation*, invece, comporta un percorso a ritroso attraverso la rete, durante il quale viene calcolato il segnale d'errore e , tra l'uscita desiderata d e quella ottenuta y e quindi propagato opportunamente dallo strato d'uscita fino allo stato d'ingresso, al fine di aggiornare i valori dei pesi e delle basi, infatti, questo segnale d'errore è trasportato indietro attraverso tutti gli strati della rete regolando o modificando simultaneamente tutti i valori delle connessione tra pesi e basi, portando in questo modo l'uscita attuale più vicina all'uscita desiderata. In particolare, l'apprendimento mediante l'algoritmo *back-propagation* avviene nei seguenti passi: 1) *Inizializzazione dei pesi e delle basi*; 2) *Presentazione di coppie ingresso/uscita desiderata*. In tale fase viene presentato un vettore con N componenti d'ingresso e viene specificato il vettore di uscita desiderato.

- ✓ *Calcolo uscite.* Mediante la funzione di attivazione sigmoideale logistica vengono calcolate le uscite intermedie e finali;
- ✓ *Adattamento connessioni.* Utilizzando l'algoritmo back-propagation si adattano i valori dei pesi e delle bias di ciascun strato cominciando dall'ultimo fino al primo; viene eseguito così un percorso a ritroso attraverso l'intera rete.

Tale procedura viene poi ripetuta con la presentazione di nuove coppie di ingresso/uscita per un numero di iterazioni che dipendono dalla condizione di arresto che tipicamente è definita sulla base della differenza tra gli errori totali ottenuti in due iterazioni successive, fino ad ottenere i valori dei pesi e delle bias e quindi assegnarli alla rete neurale.

L'algoritmo di *backpropagation* effettua l'aggiornamento dei pesi che caratterizzano la rete implementando il metodo di *discesa del gradiente della funzione errore* nello spazio dei pesi.

L'idea è quella di partire da un certo punto e calcolare lì la derivata della funzione. La derivata è un numero che esprime quanto quella funzione "pende" in quel punto: ad esempio sarà un numero negativo piccolo per indicare che la funzione decresce di poco, mentre sarà un numero negativo grande ove la funzione risultasse più rapida; laddove la derivata si annulla avremo pendenza zero, oppure positiva per indicare che la funzione è crescente. Pertanto, la tecnica di discesa del gradiente consiste nel partire da un punto qualsiasi e spostarsi proporzionalmente alla derivata cambiata di segno in quel punto. Se ad esempio si partisse da sinistra (fig.34 a), essendo la derivata negativa, si farà uno spostamento positivo, verso destra, mentre partendo da destra, essendo la derivata positiva lo spostamento sarebbe stato all'indietro, avvicinandosi anche in questo caso al punto a derivata nulla (desiderata). Ripetendo più volte il processo, la pendenza nulla, in fine, sarà raggiunta per piccoli passi, quindi lo spostamento si arresterà. Questa tecnica risulta essere molto semplice ed utile, ma presenta anche diversi svantaggi come, ad esempio, la situazione in cui il procedimento potrebbe arrestarsi in un minimo locale e quindi ottenere un peso errato rispetto alla condizione di errore minimo. In poche parole, i pesi associati ai collegamenti tra gli strati di neuroni si inizializzano a valori piccoli (ovvero molto inferiori ai valori reali che poi assumeranno) e casuali e poi si applica la regola di apprendimento

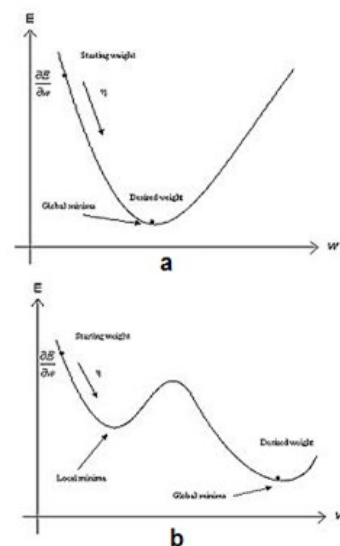


fig. 34. Andamento dell'errore al variare del peso. a) con minimo globale a sinistra b) con minimo globale e locale.

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

presentando alla rete dei pattern di esempio. Queste reti neurali sono capaci di generalizzare in modo appropriato, cioè di dare risposte plausibili per input che non hanno mai visto.

Ci sono molti vantaggi di tale previsione, come una corretta pianificazione della generazione, funzionamento e distribuzione efficienti, alimentazione senza interruzioni, ecc. Varie tecniche per la previsione del carico a breve, medio e lungo termine sono stati discussi, come i filtri di Kalman, gli algoritmi di regressione e le reti neurali (IEEE 1980, Bunn and Farmer 1985). Tra queste tecniche, la previsione del carico, usando insieme le Reti Neurali, il percettore multistrato e la rete di base radiale, ha fornito risultati abbastanza buoni in termini di accuratezza e basso errore di predizione. In questa sezione, discuteremo di uno studio applicativo sulla previsione del carico a breve termine per dimostrare come le diverse tecnologie di rete neurale possano essere impiegate per prevedere il carico orario per un particolare giorno o per 24 ore.

Esistono diverse categorie di previsione del carico, come accennato in precedenza, generalmente classificate come previsioni di carico a breve, medio e lungo termine. Le previsioni a breve termine sono generalmente orientate alla previsione del carico per un giorno (24 ore). Questo è utilizzato principalmente per l'impegno unitario, le transazioni energetiche, l'analisi della sicurezza del sistema e la pianificazione della generazione ottimale. Le previsioni a medio termine (da un giorno a diversi mesi) sono utilizzate per la pianificazione operativa a medio termine. Le previsioni a lungo termine (più di un anno) sono necessarie per analizzare la crescita della domanda (Novak 1995).

Data Set per lo studio dell'applicazione

Per questo studio applicativo sulla previsione del carico a breve termine, consideriamo i dati di carico per un mese (30 giorni) per una città di medie dimensioni. Questo tipo di dati di carico può essere acquisito da studi sul flusso di carico, rilevamento del carico ecc. Il data set inizia il venerdì alle 01:00 e finisce l'ultimo venerdì alle 24:00. I dati sono memorizzati in un file di dati Excel nel seguente formato: nella prima colonna del set di dati sono i dati di carico orario in Kilowatt, nella seconda colonna i numeri per il tipo di giorno (ad es. Lunedì = 1, martedì = 2, ..., domenica = 7) e nella terza colonna l'ora dall' 01:00 alle 24:00. Abbiamo 720 dati (30 giorni × 24 ore). Da questo set di dati, i dati di carico per 29 giorni, ovvero i dati 696 vengono utilizzati per addestrare le reti neurali, e i dati del trentesimo

giorno (cioè i dati da 697 a 720) vengono utilizzati per verificare il risultato previsto. I primi dodici dati da questo data set di 720 dati sono mostrati come esempio in tabella (tab. 10).

Per l'implementazione useremo tre tipi di reti neurali: rete lineare, perceptrone multistrato backpropagation e rete a base radiale. La rete lineare è la più semplice e utilizza il modello di neuroni di base con architettura a linea di ritardo intercettata. Perceptron di backpropagation multistrato minimizza l'errore di output utilizzando l'algoritmo di discesa del gradiente per retro propagare l'errore di output stimato al nodo di input di origine. La rete a base radiale (RBF) utilizza una funzione multidimensionale RBF che dipende dalla distanza $r = \|x - c\|$, dove $\| \cdot \|$ denota una norma vettoriale tra il vettore di input x e il centro c .

Per valutare le prestazioni delle diverse reti, definiamo una performance indice, il Mean Absolute Prediction Error (MAPE):

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|t_i - p_i|}{t_i} \times 100, \quad (5.1)$$

Dove t_i è l' i -esimo campione del vero valore (misurato) del carico, p_i è il valore di carico previsto della rete, e N è il numero totale di campioni previsti.

L'operazione che utilizza la rete lineare è descritta di seguito.

- ✓ Il data set di carico viene filtrato per mantenere solo i dati di carico per il venerdì (5). Questi sono usati come valori obiettivo per addestrare la rete lineare;
- ✓ Un array di ritardo di ingresso [numero di ritardi da 1 a 3] viene utilizzato come linea di ritardo toccata per formattare l'input. Gli input con campioni ritardati vengono utilizzati per il miglioramento dei risultati;
- ✓ La matrice di input, la matrice del ritardo di input e i valori del target di allenamento vengono convertiti nel formato della cella di dati;
- ✓ La predizione viene calcolata pronosticando il risultato per uno a 24 valori. Poiché la rete lineare è formata solo per i dati del venerdì con i primi 696 dati dei dati totali 720 eccetto i dati della scorsa settimana, ci aspettiamo il risultato dell'ultimo venerdì che è la data desiderata per predizione. La tabella tab. 11 mostra rispettivamente il risultato della previsione numericamente e graficamente.

Potenza kW	Giorno	Ora
338	2	1
367	2	2
254	2	3
320	2	4
315	2	5
268	2	6
334	2	7
315	2	8
246	2	9
354	2	10
334	2	11
340	2	12
318	2	13
312	2	14
264	2	15
245	2	16
384	2	17
364	2	18
333	2	19
325	2	20
315	2	21
285	2	22
326	2	23
254	2	24

tab. 10. Data Set impostato per il carico a breve termine.

Ore	Valore Attuale (kW)	Valore Predetto (kW)
1	338	258
2	367	298
3	254	205
4	320	300
5	315	295
6	268	240
7	334	290
8	315	350
9	246	296
10	354	404
11	334	398
12	340	388
13	318	360
14	312	358
15	264	286
16	245	264
17	384	334
18	364	312
19	333	308
20	325	301
21	315	359
22	285	270
23	326	345
24	254	212

tab. 11. Risultato della previsione utilizzando la rete lineare.

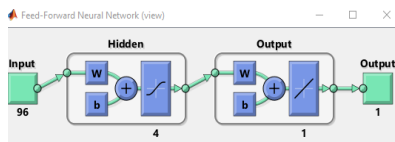


fig. 35 Simulink Rete back propagation.

La MAPE media che utilizza (3,69) dei risultati della previsione è pari a -17,4871%, che è relativamente alta. È evidente che il risultato previsto (di natura lineare) non traccia la non linearità dei valori di carico. Ciò è atteso dalla rete lineare semplicistica che si basa sull'algoritmo di risoluzione dei problemi meno quadrato.

La previsione del carico usando la rete di *backpropagation multilayer perceptron feedforward*, fig. 35, è discussa di seguito.

- ✓ La formazione della rete viene eseguita con i primi 600 dati e gli ultimi 120 dati (l'ultima settimana) vengono utilizzati come dati di test di cui gli ultimi 24 valori corrispondono alle 24 ore della data di previsione 5 (venerdì);
- ✓ Il numero di ritardi (d) è impostato su 96 per il risultato ottimale. Questo numero 96 è il ritardo più alto possibile per la previsione degli ultimi 24 valori per le 24 ore del giorno 5. Dopo aver sperimentato il ritardo (d) da 4 a 96, il miglior risultato è stato raggiunto con il ritardo = 96;
- ✓ I 600 dati target dell'allenamento vengono normalizzati dividendoli con il valore di carico più alto nell'intervallo;
- ✓ Prevediamo gli ultimi 120 valori con un ritardo di 96, ad esempio la lunghezza della finestra di previsione è $120-96 = 24$.

La tabella tab. 12 e la figura fig. 36 mostrano rispettivamente il risultato della previsione numericamente e graficamente. La MAPE media che utilizza (3,69) dei risultati della previsione è pari a -2,0015%, che è accettabile, inferiore al 3%. Gli esperimenti con diversi parametri che sono stati eseguiti utilizzando la rete di backpropagation per ottenere il miglior risultato sono i seguenti.

Ore	Valore Attuale (kW)	Valore Predetto (kW)
1	338	300
2	367	361
3	254	250
4	320	315
5	315	308
6	268	254
7	334	331
8	315	320
9	246	249
10	354	357
11	334	348
12	340	338
13	318	310
14	312	308
15	264	262
16	245	243
17	384	379
18	364	372
19	333	323
20	325	315
21	315	325
22	285	290
23	326	324
24	254	249

tab. 12 Risultato della previsione utilizzando la backpropagation.

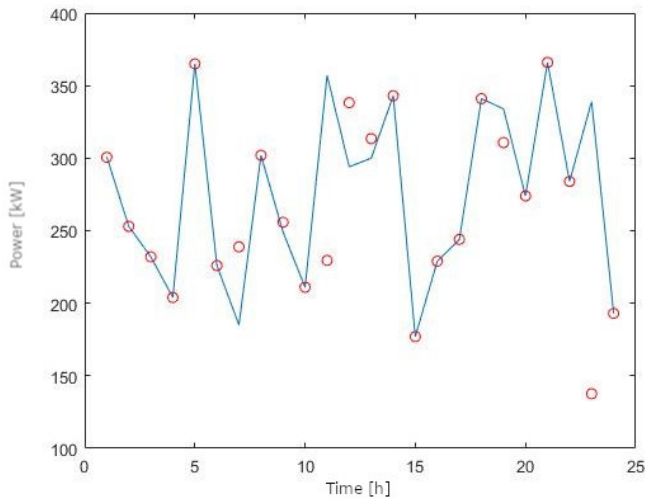


fig. 36. Risultato della previsione utilizzando la rete di backpropagation, la linea continua indica il valore di carico vero e la linea tratteggiata indica il valore previsto.

L'operazione che utilizza la rete della funzione di base radiale (RBF) è descritta di seguito.

- ✓ La formazione della rete viene eseguita con i primi 600 dati. Gli ultimi 120 dati (l'ultima settimana) vengono utilizzati come dati di test rispetto ai quali vengono verificati i 24 valori previsti (24 ore) per la data di previsione 5 (venerdì);

- ✓ I 600 dati target dell'allenamento vengono normalizzati dividendoli con il valore di carico massimo nell'intervallo. L'input è dato come matrice concatenata delle informazioni del giorno (dal lunedì al venerdì, Da 1 a 5) e le informazioni relative all'ora (da 1 a 24). L'output è anche formato concatenando le informazioni sull'ultimo giorno (5) e l'ora (1-24);
- ✓ La rete di funzioni di base radiale crea una rete neurale di regressione generalizzata che viene spesso utilizzata per l'approssimazione della funzione di 0,58 invece di default 1.

La tabella tab. 13 e la figura fig. 35 mostrano il risultato della predizione usando la rete RBF numericamente e graficamente. La MAPE media che utilizza (3,69) dei risultati della previsione è pari a -4,8072%, che è accettabile, inferiore al 5%.

tab. 13. Risultato della previsione utilizzando la rete della funzione di base radiale.

Ore	Valore Attuale (kW)	Valore Predetto (kW)
1	338	335
2	367	370
3	254	257
4	320	317
5	315	318
6	268	265
7	334	337
8	315	312
9	246	243
10	354	357
11	334	337
12	340	337
13	318	315
14	312	315
15	264	265
16	245	248
17	384	381
18	364	361
19	333	336
20	325	328
21	315	312
22	285	282
23	326	323
24	254	251

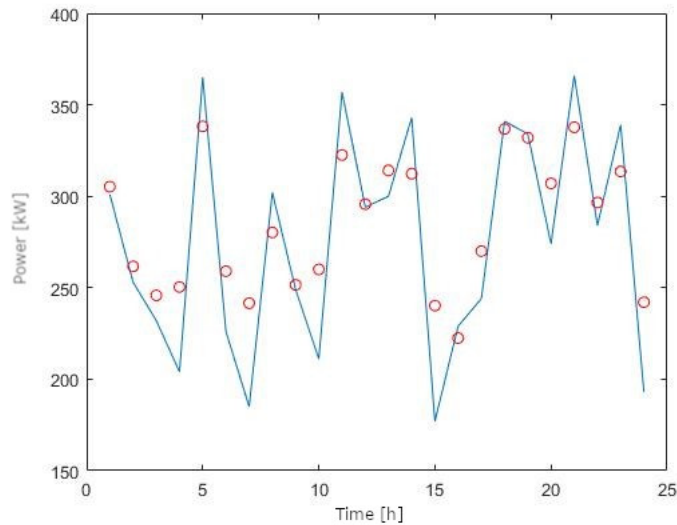


fig. 37 Risultato della previsione utilizzando la rete della funzione di base radiale, la linea continua indica il valore di carico vero e la linea tratteggiata indica il valore previsto.

Le indagini condotte con le tecniche soft- computing hanno messo in evidenza come gli esperimenti con diversi parametri sono stati eseguiti utilizzando la funzione RBF con regressione radiale per ottenere il miglior risultato come evidente nella Figura 35.

Per ottenere questo risultato si sono utilizzate diverse metodologie di seguito specificate:

- ✓ Modifica del tipo di rete (la rete di regressione generalizzata fornisce il miglior risultato);
- ✓ Modifica dei dati di allenamento: senza informazioni sulla data, con informazioni sulla data (con le informazioni sulla data producono il miglior risultato);
- ✓ Variare il numero di dati di allenamento: tutti i dati solo a venerdì (tutti i dati di allenamento dà il miglior risultato);
- ✓ Modifica dello spread (Mathworks 2002) per la rete RBF di regressione (spread intervallo di parametri 0,5-2,0, 0,58 produce il miglior risultato).

Attuando gli accorgimenti sopra esposti si è implementato un sistema di previsione capace di predire nell'arco temporale di 30 giorni i possibili consumi dei compressori, che, come ampiamente descritto nei capitoli precedenti, costituiscono la fase più dispendiosa dal punto di vista energetico all'interno dell'impianto.

Il software implementato è stato inserito all'interno della board realizzata, come descritto dettagliatamente nel capitolo che segue.

Conclusioni

Questo lavoro di ricerca ha evidenziato l'importanza delle tecnologie soft-computing per l'intero sistema produttivo. Infatti esso permette di prevedere i consumi grazie a un sistema di intelligenza artificiale che incrocia dati provenienti da più macchinari. Per capire quali opportunità offrirà questo sistema basta dire che grazie ad esso è possibile un risparmio sulla bolletta di energia elettrica fino al 20% per l'utente finale. In concreto, l'algoritmo in esecuzione mette in relazione i consumi di energia elettrica rilevati in tempo reale sui macchinari operanti nell'impianto di depurazione grazie ai sensori smart installati nella cabina elettrica. In questo modo, previsione di domanda e consumo reale di energia elettrica si avvicinano in maniera inedita finora, generando un vantaggio. Questo gap tra previsione e consumo reale pesa sull'azienda con una percentuale che arriva al 2% del suo consumo complessivo. Rispetto ai sistemi statistici di previsione utilizzati finora in tutto il mondo, questo sistema innovativo, grazie alla capacità di apprendere riesce a fornire previsioni di consumo molto più precise anche in situazioni di grande variabilità della domanda. Inoltre è in grado di fornire suggerimenti agli utenti finali su come posizionare i picchi di consumo per risparmiare così sulla spesa, con un riepilogo di spesa e risparmi anche in termini previsionali.

Piattaforma di monitoraggio accessibile all'indirizzo <http://progettonvcalabria.altervista.org/nvf/>.

Il software di monitoraggio è l'anello di congiunzione tra le fasi processuali dell'impianto di depurazione e l'utente, perché consente di gestire la mole di informazioni che sono contenute nel Data Base.

La piattaforma con accesso protetto, che gestisce l'intero sistema, consente di monitorare le grandezze d'interesse e di valutare la presenza di consumi eccessivi di corrente, prevedendo, grazie all'algorithmo genetico implementato, le possibili inconvenienti e consumi eccessivi, tramite informazioni di carattere descrittivo. A corredo dell'interfaccia vi è la gestione delle informazioni, che possono essere visualizzati sulla piattaforma di monitoraggio, la quale mostra una panoramica globale dell'intero sistema di gestione delle acque reflue.

Progetto Nuova Vita per i Fanghi

HOME

PARTECIPANTI

IL PROGETTO

GRAFICI

PRIVACY POLICY



CAPITOLO VI Progettazione Sistema di Monitoraggio

Il lavoro di tesi svolto ha lo scopo di inserire elementi innovativi in un sistema di depurazione non all'avanguardia. Come descritto nel Capitolo 2 si sono utilizzate, nella linea dei fanghi, metodologie conosciute in letteratura, che presentano le migliori condizioni adattabili al depuratore di Cropani. Il pretrattamento ad ultrasuoni effettuato su 1 m³ di fango, prima in laboratorio, e successivamente sull'impianto, ha consentito una riduzione notevole del peso specifico del fango, incidendo sulla riduzione del quantitativo di acqua presente sul materiale. La ricerca esposta nel Capitolo 2 è strettamente necessaria non solo per la riduzione dei costi di gestione da parte del soggetto gestore, ma anche e soprattutto per il riutilizzo ed il monitoraggio dei consumi elettrici. Il monitoraggio è concretizzato dalla progettazione e successiva realizzazione di un sistema integrato software/hardware, in grado di controllare i consumi in tempo reale e di prevederli di almeno 1 mese (Capitolo 5).

Introduzione

Il sistema integrato è stato progettato in ambiente *EasyEDA*[®] e successivamente realizzato nel laboratorio di Elettrotecnica e Prove Non Distruttive del Dipartimento DICEAM dell'Università "Mediterranea" di Reggio Calabria. La scheda elettronica è stata stampata dalla Cooperativa TEC, Spin-In del Dipartimento DICEAM, ed assemblata nel laboratorio di Prove Non Distruttive. Realizzata la scheda elettronica, sono inseriti altri componenti necessari per la memorizzazione dei dati, l'elaborazione degli stessi ed il loro processamento. I dati prelevati in real-time ed i dati elaborati con le tecniche soft-computing sono trasmessi con chiavetta internet key 4G LTE alla piattaforma di monitoraggio. La piattaforma è stata implementata in ambiente WordPress[®], per la sua disponibilità ad

offrire più di 10.000 temi disponibili, più di 20.000 plugins / moduli disponibili, perché utilizzato da milioni di persone e siti web in tutto il mondo, perché è la piattaforma di blogging più grande al mondo, perché rapido e semplice da integrare con altri pacchetti software, perché facile da integrare con i profili social networking, ma soprattutto perché si possono gestire siti web multipli in un unico dashboard. Al contempo, al fine di prevenire gli svantaggi insiti nella programmazione in WordPress®, si sono integrati protocolli di sicurezza SSL, che fornisce un livello fondamentale di sicurezza online, essenziale quando si trasmettono informazioni sensibili. In un ambiente imprevedibile, dove gli strumenti per la sicurezza delle reti vengono puntualmente compromessi dagli hacker, il protocollo di sicurezza SSL garantisce la riservatezza e l'integrità dei dati inviati tramite Internet.

Sistema Integrato - Hardware

Il progetto della centralina Custom risponde all'esigenza generalizzata e diffusa nel territorio di contenere gli investimenti nel comparto strumentale e di garantire al meglio l'efficacia. Nel dettaglio si mira a diffondere l'applicazione ICT a servizio dell'ingegneria di processo degli impianti di trattamento dei reflui civili. In questa fase si è effettuato un monitoraggio mirato, costante e intensivo dei parametri elettrici. Il sistema è stato realizzato da un'unità centrale secondo specifiche di progetto dettate da specifiche ricavate in fase di studio. Il prototipo finale prodotto è costituito da una scheda di acquisizione ed elaborazione che riceve in ingresso i segnali di corrente proveniente dai compressori, tali segnali captati da opportuni sensori vengono gestiti da un sistema intelligente System On Module (SOM) ovvero un dispositivo elettronico indipendente capace di gestire un Sistema operativo Linux ed in grado di effettuare delle elaborazioni numeriche, anche complesse. I segnali acquisiti vengono poi inviati ad un Data Base che li immagazzina e li rende disponibili per essere gestiti da una piattaforma online.

Schematicamente può essere rappresentata come in figura (fig. 38).

L'estratto dello schema elettrico del prototipo per il monitoraggio realizzato e la scheda elettronica realizzata:

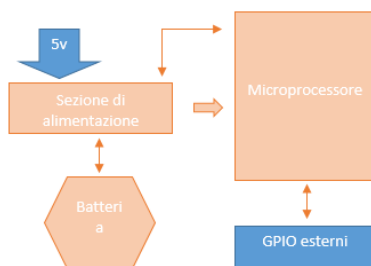


fig. 38. Schematic.

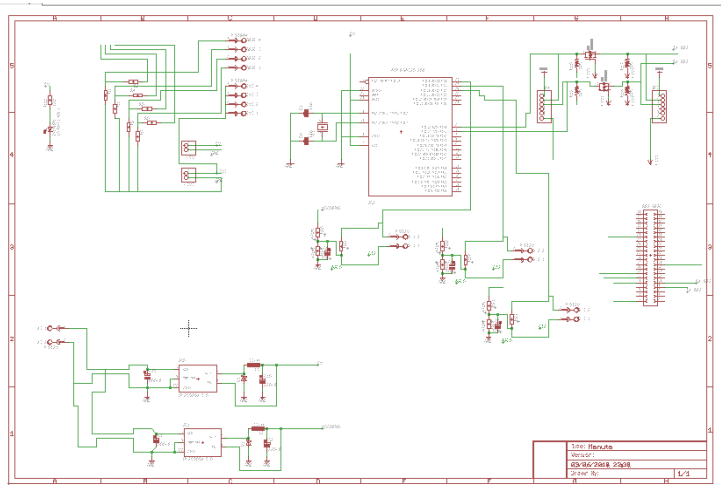


fig. 39. Schema elettrico.

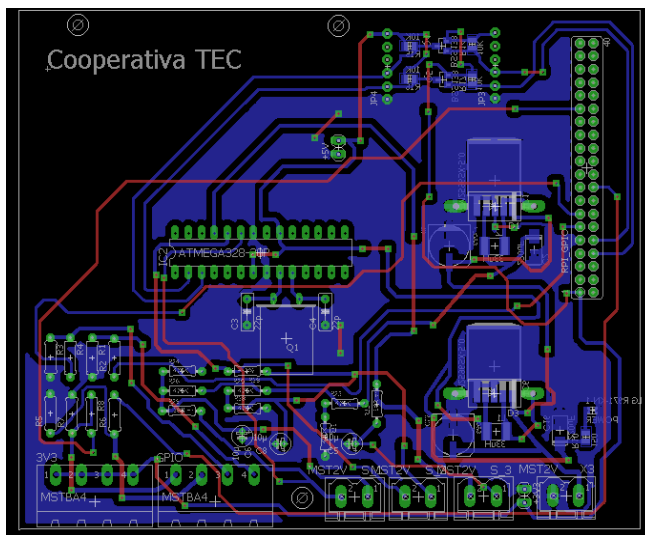


fig. 40. Scheda elettronica.



fig. 41 Scheda elettronica.

fig. 42 Scheda elettronica installata sulla cabina elettrica



fig. 43 Scheda elettronica installata sulla cabina elettrica



fig. 44. Sensore di Corrente.

Il segnale viene rilevato attraverso il sensore SCT-013, che è connesso al quadro ed è in grado di rilevare l'assorbimento dei compressori consentendo, una volta inviato il dato alla piattaforma, di estrapolarlo e di quantizzare il tempo di funzionamento.

La centralina assemblata è stata montata nel quadro per 2 settimane effettuando una campagna di raccolta dati dei consumi elettrici.

Da questa campagna è emerso che i compressori hanno un consumo medio di 40 Ampere e rimangono attivi per un tempo 30 minuti,

analizzando l'impianto e i dati raccolti si è passati ad ottimizzare i consumi.

Tale ottimizzazione può essere effettuata gestendo in maniera intelligente l'attivazione e lo spegnimento dei compressori.

In particolare monitorando i parametri di ossigeno, infatti, utilizzando dei sistemi evoluti messi a disposizione dall'innovazione tecnologica è possibile utilizzare il livello di ossigeno per controllare i compressori.

In particolare si è impostato una soglia minima di attivazione pari a 0.5 mg di Ossigeno e una soglia massima di disattivazione di di 2.5 – 3 mg di Ossigeno in questo modo il tempo di funzionamento dei compressori viene ridotto.

Una volta messo appunto tale sistema di controllo si è eseguita nuovamente la campagna di misure al fine di valutare se vi è una consistente riduzione del tempo di funzionamento dei compressori.

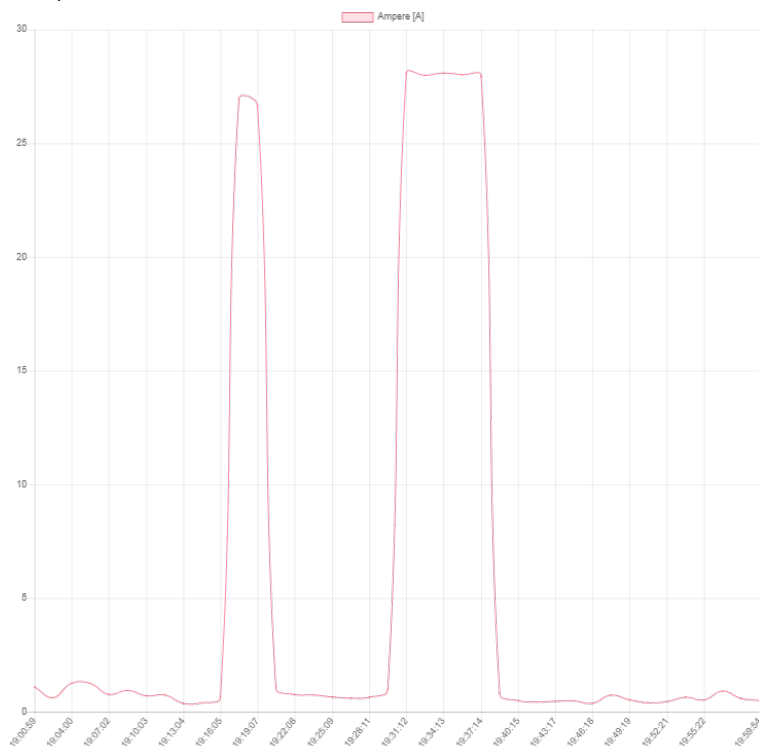


fig. 45. Assorbimento di corrente dei compressori dell'impianto.

Il software di monitoraggio è l'anello di congiunzione tra le fasi processuali dell'impianto di depurazione e l'utente, perché consente di gestire la mole di informazioni che sono contenute nel DB. Il sistema è gestito attraverso una piattaforma con accesso protetto in cui è possibile oltre a monitorare le grandezze d'interesse valutare la presenza di consumi eccessivi di corrente, prevedendo, grazie all'algoritmo genetico implementato, le possibili inconvenienti e consumi eccessivi, tramite informazioni di carattere descrittivo. A

Sistema Integrato - Software

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

corredo dell’interfaccia vi è la gestione delle informazioni, che possono essere visualizzati sulla piattaforma di monitoraggio, la quale mostra una panoramica globale dell’intero sistema di gestione delle acque reflue.

La piattaforma di monitoraggio è accessibile all’indirizzo <http://progettonvfc Calabria.altervista.org/nvf/>.

Nelle figure fig. 41 e fig. 42 sono stati estrapolate alcune immagini della piattaforma di monitoraggio.

figg. 46, 47. Home della Piattaforma di Monitoraggio. Sotto: Piattaforma di Monitoraggio.



Conclusioni

La realizzazione del sistema integrato ha risposto all'esigenza generalizzata e diffusa per le società gestori degli impianti di contenere gli investimenti nel comparto strumentale e di garantire al meglio l'efficacia e l'efficienza dei processi depurativi. La richiesta sempre più insistente di monitoraggio e previsione ha incentivato l'attività di ricerca ed ha, al contempo, stimolato soluzioni robuste, riproducibili ed implementabili con un basso costo computazionale.

La progettazione e la relativa realizzazione del prototipo hardware di monitoraggio, consente di visualizzare in tempo reale i consumi energetici.

Altresì esso offre la possibilità di prevedere nell'arco temporale di 30 giorni i possibili consumi energetici.

Nel sistema hardware oltre che alla registrazione continua dei dati, è installato il programma implementato con tecnologia soft-computing, in maniera tale da fornire all'utente/gestore due grafici distinti, uno che visualizza il consumo orario giornaliero, ed uno che prevede il consumo per il mese successivo.

La piattaforma di monitoraggio è stata programmata in un ambiente di sviluppo su WordPress, perché rispetto ad altri offre più temi disponibili, perché è la piattaforma di blogging più grande al mondo, rapida da integrare con i profili social networking e facilmente gestibile con siti web multipli in un unico dashboard.

La scelta oltre per le caratteristiche sopra esposte fa sì che si possano facilmente implementare e visualizzare le informazioni necessarie per l'andamento dei consumi energetici ed ambientali. Naturalmente per poter monitorare i dati richiesti è necessario l'utilizzo di sensori dedicati, che possono essere collegati al dispositivo prototipato nelle porte di ingresso opportunamente predisposte per l'eventuale utilizzo.

Riutilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura.



Conclusioni

Gli argomenti presenti nella tesi di dottorato sono molteplici ed hanno osservato diversi aspetti della “problematica sui fanghi”.

La ricerca ha visto protagonista il processo di depurazione dei fanghi affrontando tutte le sue fasi e quindi spaziando dal calcolo di determinati indici di funzionalità degli impianti al confronto tecnico-economico di diverse soluzioni per la gestione dei fanghi. Tutte queste tematiche possono sembrare tra di loro disconnesse, ma in realtà per come ampiamente discusso nell'intero lavoro si evince l'importanza di un approccio integrato, che lega tutti gli aspetti economico/normativi che governano il funzionamento degli impianti di depurazione.

La filosofia dell'approccio integrato più volte richiamata all'interno del presente lavoro, prevede che, prima di effettuare qualsiasi tipo di intervento di *upgrading* (sia strutturale che gestionale) con provvedimenti che richiedono solitamente cospicui investimenti economici, si debba fotografare lo stato di salute dell'impianto. Questo viene fatto mediante l'utilizzo della termografia e, di conseguenza, con il calcolo degli indici di funzionalità, che consentono di valutare le prestazioni dell'impianto confrontando gli indicatori effettivi (cioè che risultano dall'elaborazione dei dati gestionali) con i valori “attesi” degli indicatori stessi (valutati, per ogni caso specifico, in funzione delle condizioni di funzionamento).

La valutazione degli indici permette, pertanto, di evidenziare i comparti nei quali l'impianto risulta carente; se questo si verifica, è necessario procedere alla verifica di funzionalità del comparto.

Analizzando con un opportuno sistema di monitoraggio, i consumi dell'impianto di depurazione di Cropani è stato visto che due comparti necessitavano una verifica di funzionalità, ovvero richiedevano una migliore gestione del processo, con interventi innovativi ed alternativi rispetto a quelli che venivano attuati. Come ampiamente esposto il processo di accensione e spegnimento dei compressori, utili all'introduzione dell'ossigeno nelle vasche di ossidazione, è stato diversamente regolamentato, nello specifico si è modificata la fase di funzionamento azionando i compressori non con un temporizzatore, ma con i valori di ossigeno presenti nella vasca opportunamente rilevati da sensori di ossigeno. Tale processo ha contribuito

notevolmente a diminuire i consumi energetici, come dai risultati ottenuti con il monitoraggio effettuato dal dispositivo prototipato. Contestualmente l'implementazione e la realizzazione del sistema di previsione dei consumi hanno fornito ottime indicazioni sulle possibili misure da adottare per ridurre predettivamente le spese energetiche con una previsione di trenta giorni. Il sistema integrato fornisce feedback incoraggianti per il controllo gestionale ed operativo dei processi, ed altresì, permette di monitorare non solo i consumi energetici, ma anche quelli ambientali.

Il lavoro di ricerca ha cercato di fornire un contributo propositivo per la risoluzione di problematiche, ormai insite nel sistema di depurazione.

La ricerca è partita dall'analisi dello stato dei luoghi, e quindi la mappatura strutturale con analisi termografica dell'impianto, prevedendo la possibilità di utilizzare, eventualmente, tecniche di energy harvesting per il recupero dell'energia dissipata sotto forma di calore, per poi introdurre ed utilizzare tecniche soft-computing per la previsione dei consumi energetici.

La progettazione e realizzazione del sistema integrato software/hardware, capace di monitorare e predire i consumi energetici nei comparti maggiormente dispendiosi, è quel quid in più, che ha consentito all'ente gestore di risparmiare notevolmente sull'energia elettrica. Non di meno l'analisi e lo studio dei fanghi con tecniche di sonicazione per il riutilizzo degli stessi in altri ambiti commerciali, ha consentito la trasformazione del rifiuto in sottoprodotto. Quest'ultimo ambito di ricerca ha previsto il riutilizzo del fango in agricoltura piuttosto che in altre forme di riutilizzo, solo perché non si è analizzata la sostenibilità ambientale di altri scenari. L'attività di ricerca ha visto, anche per la linea dei fanghi, il suo monitoraggio e la previsione dei suoi consumi energetici. Lo studio ha evidenziato la possibilità di prototipare un dispositivo capace di riutilizzare il calore dissipato in energia elettrica, dispositivo necessario per l'utilizzo del pretrattamento ad ultrasuoni. Infatti, vista la complessità del lavoro trattato si è preferito posticipare ulteriori studi di ricerca con la realizzazione di un sistema integrato di riscaldamento/essiccamento dei fanghi. Infine si potrebbe considerare la possibilità di inviare i fanghi ad un impianto di incenerimento piuttosto che ad uno di co-incenerimento, scelta che potrebbe modificare il giudizio ambientale dello scenario, così come, scegliere di conferire i residui ad un impianto di termovalorizzazione piuttosto che in discarica, così come riutilizzare il fango in ambito tessile, edilizio, etc.

In conclusione, i risultati riportati in questo lavoro (molti dei quali sono ancora, ad oggi, oggetto di studio) evidenziano la validità dell'approccio seguito. Infatti, si ritiene che solo un'analisi di tipo globale, come quella qui riportata, possa fornire utili strumenti ai

gestori o agli enti pianificatori nel momento in cui si trovano a dover affrontare scelte inerenti alla gestione dei fanghi di depurazione.

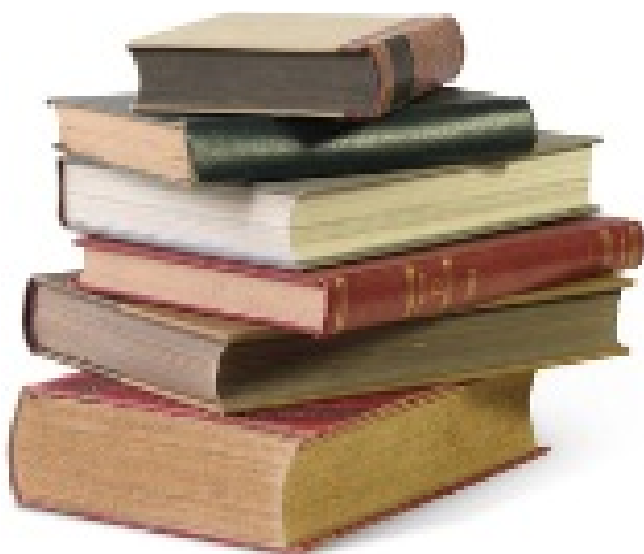
In molti casi, anche dai contatti quotidiani avuti con gestori di impianti, si è visto che è ancora molto diffusa l'idea che, per risolvere un problema, debbano essere necessariamente previsti cospicui investimenti mentre, il monitoraggio e il calcolo degli indici di funzionalità, nonché l'applicazione delle verifiche di funzionalità, hanno dimostrato, in molti casi, che questo non è necessario e che, anzi, consentono di ottenere un risparmio.

Si ritiene, pertanto, che il primo obiettivo da perseguire al fine di minimizzare la quantità di fanghi da smaltire sia l'ottimizzazione delle strutture esistenti e solo una volta individuate le carenze dell'impianto e sulla base di un'accurata analisi tecnico-economica si debba adottare una tecnica di minimizzazione. Infatti, si ritiene che, come non esista l'impianto “tipo”, non esista la tecnica di minimizzazione “migliore in assoluto” ma, bensì quella migliore per quell'impianto e con quelle condizioni al contorno (funzione, anche, degli obiettivi che si prefigge il gestore).

L'analisi riportata in questo lavoro, pertanto, consente di tenere presente le peculiarità di ciascun impianto e, mediante diversi fattori, di evidenziare, nel caso di riferimento, i vantaggi tecnici ed economici derivanti dall'utilizzo di una specifica tecnica di minimizzazione.

Infine, si ritiene che, oltre ad una stabilizzazione del quadro Normativo, sia fondamentale un'accurata pianificazione sovra impiantistica da parte degli enti preposti (per esempio, i gestori del Servizio Idrico Integrato) in modo che possano essere effettuati investimenti mirati ed evitati inutili sprechi.

L'azione di inserire un riferimento alla fonte può essere anche detto “citare la fonte”. Il lettore della tesi può usare tutti i riferimenti alle varie fonti per risalire all'origine delle informazioni



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Araki H., Koga K., Inomae K., Kusuda T., Awaya Y. (1990). Intermittent aeration for nitrose removal in small oxidation ditches. *Wat. Sci. Tech.* 22(3/4), 131-138.
- ARPA-ISPRA-CNR (2003). "Metodi analitici per le acque", APAT - Manuali e Linee Guida 29/2003.
- Battistoni P., De Angelis A., Boccadoro R. e Bolzonella D. (2003b). "An automatically controlled alternate oxic-anoxic process for small municipal wastewater treatment plants". In "I&EC Research – Industrial & Engineering Chemistry Research, 42(3), pp. 509-515.
- Battistoni P., Fantone F., Cola E. e Pavan P. (2008). "Alternate cycles process for municipal WWTPs upgrading: ready for widespread application?". In "I&EC Research – Industrial & Engineering Chemistry Research, 47(13), pp. 4387-4393.
- Benitez J., Rodriguez A. e Malaver R. (1995). "Stabilization and dewatering of wastewater using hollow fiber membranes". *Water Res.* 29, 2281–2286.
- Bertanza G. e Canato M. (2012). "Verifiche sulla digestione anaerobica dei fanghi". In "Impianti di trattamento acque: verifiche di funzionalità e collaudo – Manuale operativo". Hoepli. ISBN: 978-88-203-5200-4.
- Böhler, M. e Siegrist, H. (2004). Partial ozonation of activated sludge to reduce excess sludge, improve denitrification and control scumming and bulking. *Water Science and Technology* 49 (10), 41–49.
- Bonomo L. (2008). "Trattamenti delle acque reflue". McGraw-Hill. ISBN 978- 88-386-6518-9.
- Bougrier C., Carrère H., Battimelli A. e Delgenes J.P. (2004). Effects of various pre-treatments on waste activated sludge in order to improve matter solubilisation and anaerobic digestion. *Proceedings, 10th World Congress Montréal, Canada.*
- Bunn DW, Farmer ED (1985) Comparative models for electrical load forecasting. John Wiley & Sons, New York, IEEE Committee (1980) Load forecasting bibliography phase I. IEEE Transactions on Power Applications and Systems 99:53–58
- Matteo Cacciola, Salvatore Calcagno, LAGANA' F, Francesco Carlo Morabito, Diego Pellicanò, Isabella Palamara, Mario Versaci (2012). A NEW APPROACH TO EVALUATE DEFECTS IN METALLIC PLATES BASED ON COMPUTING WITH WORDS AND FUZZY ENTROPY. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMS AND SERVICE ORIENTED ENGINEERING*, vol. April-June 2012, Vol. 2, p. 24-32, ISSN: 1947-3052
- Cacho Rivero J.A., Madhavan N., Suidan M.T., Ginestet P. e Audic J.-M. (2005). Oxidative and thermo-oxidative co-treatment with anaerobic digestion of excess municipal sludge. *Water Science and Technology*, 52(1- 2): 237–244.
- Camacho P., Geagey V., Ginestet P. e Paul E. (2002). "Feasibility study of mechanically disintegrated sludge and recycle in the activated-sludge process". *Wat. Sci. Tech.* 46 (10), 97-104.
- Canziani R. (1990). "Trattamento delle acque di rifiuto". Istituto per l'Ambiente, Milano.
- Carrère H., Dumas C., Battimelli A., Batstone D.J., Delgenès J.P., Steyer J.P., Ferrer I. (2010). Pretreatment methods to improve sludge anaerobic degradability: A review. *Journal of Hazardous Materials* 183 (2010) 1–15.
- Cassini S.T., Andrade M.C.E., Abreu T.A., Keller R. e Gonçalves (2006). "Alkaline and acid hydrolytic processes in aerobic and anaerobic sludges: Effect on total EPS and fractions". *Water Science and Technology*, 53(8), 51- 58.
- Cecchi F. (2007). Produzione di energia da fonte rinnovabile e salvaguardia dell'ambiente: l'integrazione dei cicli di trattamento acque e rifiuti organici. In "Biogas da frazioni organiche di rifiuti solidi urbani in miscela con altri substrati", atti del 62° Corso di aggiornamento in Ingegneria Sanitaria- Ambientale del Politecnico di Milano, 7-10 maggio 2007, Milano.
- Chen G.H, An K.J., Saby S., Boris E. e Djafer M. (2003). "Possible cause of excess reduction in an oxic-settling-anaerobic activated sludge process (OSA process)". *Water Res.* 37(16), 3855-3866.
- Chu C.P., Chang B.V., Liao G.S., Jean D.S. e Lee J. (2001). Observations on changes in ultrasonically treated waste-activated sludge. *Wat. Res.* 35 (4), 1038-1046.
- Collivignarelli C, Pergetti M., Riganti V. (2000). "La gestione degli impianti di depurazione delle acque di scarico. Proposta di linee guida per la manutenzione, il controllo, le verifiche, l'upgrading e i trattamenti congiunti di reflui speciali". Il Sole 24 ore. ISBN 88-324-4047-4.
- Collivignarelli C. e Bertanza G. (2005). "Guida per l'adeguamento, miglioramento e razionalizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane".
- Collivignarelli C., Bertanza G. (2006). *Le verifiche di funzionalità per l'ottimizzazione della depurazione delle acque di scarico urbane.* Ed. CIPA, Milano.
- Collivignarelli C., Bertanza G., Abbà A. Collivignarelli M.C. (2011). "Impianti di depurazione dell'ATO Veronese: funzionalità, necessità di upgrading, gestione dei fanghi".
- Colombo (2003). "Manuale dell'ingegnere. 83° edizione". Hoepli.
- Côté P., Buisson H. e Praderie M. (1998). "Immersed membranes activated sludge process applied to the treatment of municipal wastewater". *Water Sci. Technol.* 38, 437–442.

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

- Decreto Legislativo 11 maggio 2005, n. 133 – “Attuazione della direttiva 2000/76/CE, in materia di incenerimento dei rifiuti” pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 163 del 15 luglio 2005 – Supplemento Ordinario n. 122.
- Decreto Legislativo 13 gennaio 2003, n. 36 – “Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti” pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 59 del 12 marzo 2003 - Supplemento Ordinario n. 40.
- Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 – “Norme in materia ambientale” pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006.
- Decreto legislativo 27 gennaio 1992 – “Attuazione della direttiva 86/278/CEE concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura” pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 38 del 15 Febbraio 1992 - Supplemento Ordinario n.28.
- Decreto Legislativo 29 aprile 2010, n.75 – “Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti, a norma dell'articolo 13 della legge 7 luglio 2009, n. 88” pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 121 del 26 maggio 2010.
- Decreto Ministeriale 22 gennaio 2009, n.1601 – “Aggiornamento degli allegati al decreto legislativo 29 aprile 2006, n. 217, concernente la revisione della disciplina in materia di fertilizzanti” pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 88 del 16 Aprile 2009 - Supplemento Ordinario n.51.
- Decreto Ministeriale 12 giugno 2003, n. 185 – “Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell'articolo 26, comma 2, del D.lgs. 11 maggio 1999, n. 152” pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 169 del 23 luglio 2003.
- Decreto Ministeriale 5 febbraio 1998 – “Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22” pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 88 del 16-04-1998 supplemento ordinario n. 72.
- Di Iaconi C., Ramadori R., Lopez A. e Passino R. (2007). “Aerobic Granular Sludge Systems: The New Generation of Wastewater Treatment Technologies”. *Ind. Eng. Chem. Res.* 46, 6661-6665.
- Direttiva 1999/31/CE del Consiglio, del 26 aprile 1999, relativa alle “discariche di rifiuti” Gazzetta ufficiale n. L 182 del 16/07/1999.
- Do K.U.; J.R. Banu; Chung I-J e Yeom I-T (2009). Effect of thermochemical sludge pretreatment on sludge reduction and on performances of anoxic- aerobic membrane bioreactor treating low strength domestic wastewater. *Wiley Interscience*, DOI 10.1002/jctb.2189.
- Etzel J.E., Born G.S., Stein J., Helbing T.J. e Baney G. (1969). Sewage sludge conditioning and disinfection by gamma irradiation. *Am J Public Health* 59: 2067-3076.
- Feng, X., Lei, H.Y., Deng, J.C., Yu, Q., Li, H.L. (2009). Physical and chimica characteristics of waste activated sludge treated ultrasonically. *Chem. Eng. Process.* 48, 187-194.
- Foladori P., Andreottola G. e Ziglio G. (2010). “Sludge reduction technologies in wastewater treatment plants”. IWA Publishing. ISBN 9781843392781.
- Forster, C.F.1968. The surface of activated sludge particles in relation to their settling characteristics. *Water Res.* 2: 767-776.
- Forster, C.F. 1985 Factors involved in the settlement of activated sludge-I: nutrients and surface polymers. *Water Res.* 19(10): 1259-1264.
- Grönroos, A., Kyllonen, H., Korpijarvi, K., Pirkonen, P., Paavola, T., Jokela, J., Rintala, J. (2005). Ultrasound assisted method to increase soluble chemical oxygen demand (SCOD) of sewage sludge for digestion. *Ultraso. Sonochem.* 12 (1-2 SPECISS), 115-120.
- He Ming-he e Wei Chao-hai (2010). “Performance of membrane bioreactor (MBR) system with sludge Fenton oxidation process for minimization of excess sludge production”. *Journal of Hazardous Materials* 176 (2010) 597- 601.
- Heinz (2007). “Scaling up of electrical route”. In “Comparative Evaluation of Sludge Reduction Routes”. Ginestet, P. (ed.). IWA Publishing, London, UK.
- IReR (Istituto Regionale di Ricerca della Lombardia), 2007. Sostenibilità ed evoluzione tecnologica nel sistema di depurazione lombardo: il riutilizzo delle acque reflue e dei fanghi di depurazione - Codice IReR: 2006B039.
- IReR (Istituto Regionale di Ricerca della Lombardia), 2009. “Depurazione delle acque reflue urbane: tecnologie innovative idonee a contesti molto urbanizzati” – Codice IReR: 2009B007.
- ISPRA (2009). Rapporto 93/2009: “L’ottimizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane: massimizzazione dei recuperi di risorsa (acqua e fanghi) e riduzione dei consumi energetici”.
- ISPRA (2011). “Rapporto rifiuti urbani 2011” ISBN: 978-88-448-0500-5.
- Khanal S. K., Grewell D., Sung S., Leeuwen J. (2007). “Ultrasound applications in wastewater sludge pretreatment: a review”. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 37(4), 277-313.
- Kim, J., Park, C., Kim, T.-H., Lee, M., Kim, S., Kim, S.-W., Lee, J., 2003. Effects of various pretreatments for enhanced anaerobic digestion with waste activated sludge. *J. Biosci. Bioeng.* 95 (3), 271-275.

- Kumar N., Novak J.T., Murthy S. (2006a). "Effect of secondary aerobic digestion on properties of anaerobic digested biosolids". In: "Water Environmental Federation 79th Annual Technical Exhibition and Conference", Dallas, pp. 6806-6829.
- Kumar N., Novak J.T., Murthy S. (2006b). "Sequential anaerobic-aerobic digestion for enhanced volatile solids reduction and nitrogen removal". In: "Water Environmental Federation Residuals and Biosolids Management Conference", Cincinnati, OH, March 12-14.
- Laera G., Pollice A., Saturno D., Giordano C. e Lopez A. (2005). "Zero net growth in a membrane bioreactor with complete sludge retention". *Water research*, 39, 5241-5249.
- Laganà F., De Carlo D., Calcagno S, An agent-based system to monitor an energy biomass process, CEUR Workshop Proceedings Volume 1867, 2017, Pages 31-36 18th Workshop "From Objects to Agents", WOA 2017; Scilla (RC); Italy; 15 June 2017 through 16 June 2017; Code 128450, Contributo in Atti di convegno, 2017.
- Laganà F., D. De Carlo, Calcagno S, M. Versaci, Modellazione e analisi sulle sollecitazioni termiche nella piastra d'attacco ala-fusoliera in strutture aeronautiche, Giornata Aerospaziale - I Controlli non Distruttivi nelle applicazioni aerospaziali - Aeroporto "M. De Bernardi" - Pratica di Mare - Pomezia (RM), Contributo in Atti di convegno, 2016.
- Liu Y. (2000). Effect of chemical uncoupler on the observed growth yield in batch culture of activated sludge. *Wat. Res.* 34 (7), 2025-2030.
- Liu Y. (2003). "Chemical reduce excess sludge production in the activated sludge process". *Chemosphere*, 50 (1), 1-7.
- Liu Y. e Tay J.H. (2001). "Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process". *Biotechnology Advances*, 19, 97-107.
- Lorenzi E., Novarino D., Degan R. e Scibilia G. (2012). "Verifiche sulla digestione anaerobica dei fanghi". In "Manuale sulle verifiche di funzionalità di impianti e infrastrutture del ciclo idrico integrato". Hoepli. In corso di pubblicazione.
- Lotito V. (2000). "Sviluppi nelle tecniche di addensamento e disidratazione ". In "Atti del 52° Corso di aggiornamento in Ingegneria Sanitaria-Ambientale "Sviluppi nelle tecniche di depurazione delle acque reflue", Politecnico di Milano, 16-19 ottobre, 593-612.
- Low E.W. e Chase H.A. (1998). The use of chemical uncouplers for reducing biomass production during biodegradation. *Wat. Sci. Tech.* 37 (4-5), 399- 402.
- Low W.W., Chase H.A., Milner M.G. e Curtis T.P. (2000). Uncoupling of metabolism to reduce biomass production in the activated sludge process. *Wat. Res.* 34 (12), 3204-3212.
- Lübbecke S., Vogelpohl A. e Dewjanin W. (1995). "Wastewater treatment in a biological high-performance system with high biomass concentration". *Water Res.* 29 793-802.
- Mahmood T. e Elliott A. (2006). "A review of secondary sludge reduction technologies for the pulp and paper industry". *Water Research*, 40, 2093- 2112.
- Masotti L. (1996). "Depurazione delle acque, tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto". Ed. Calderini.
- Mazzoleni F. (2006). Final treatment and reclamation of wastewater sludge by TOP wet oxidation. AICHEMA 2006, 15-19 Maggio, Francoforte, Germania.
- Metcalf & Eddy (1993). "Wastewater engineering. Treatment, disposal, and reuse". McGraw-Hill International Editions. ISBN 0-07-100824-1.
- Montusiewicz A., Lebioccka M., Ro zej A., Zacharska E., Pawłowski L. (2010). Freezing/thawing effects on anaerobic digestion of mixed sewage sludge. *Bioresource Technology* 101 (2010) 3466-3473.
- Müller J. (2000). Disintegration as a key-step in sewage sludge treatment. *Wat. Sci. Tech.* 41 (8), 123-130.
- Müller J., Lehne G., Schwedes J., Battenberg S., Naeveke R., Kopp J., Dichtl N., Scheminski A., Krull R. e Hempel D.C. (1998). "Disintegration of sewage sludges and influence on anaerobic digestion". *Wat. Sci. Tech.* 38 (8-9), 425-433.
- Müller J., Winter A. e Strükmann G. (2004). Investigation and assessment of sludge pre-treatment processes. *Water Sci. Technol.* 49(10), 97-104.
- Mustapha S. e Forster C.F. (1985). Examination into the gamma irradiation of activated sludge. *Enzyme Microbiology Technology* 7: 179-181.
- Neyens E., Baeyens J. e Creemers C. (2003). "Alkaline thermal sludge hydrolysis". *Journal of Hazardous Materials B97*, 295-314.
- Neyens E., Baeyens J. e Creemers C. (2003). Alkaline thermal sludge hydrolysis. *Journal of Hazardous Materials B97*, 295-314.
- Neyens E., Baeyens J., Dewil R., De Heyder B. (2004). Advanced sludge treatment affects extracellular polymeric substances to improve activated sludge dewatering. *Journal of hazardous materials - part B* 106 83-92.
- Nickel K. e Neis U. (2007). "Ultrasonic disintegration of biosolids for improved biodegradation ". *Ultrasonics Sonochemistry*, 14, 450-455.
- Oh Y-K, Lee K-R, Ko K-B, Yeom I-T (2007). Effects of chemical sludge disintegration on the performances of wastewater treatment by membrane bioreactor. *Water Research* 41, 2665 - 2671.

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

- Okey R.W. e Stensel D.H. (1993). Uncouplers and activated sludge – the impact on synthesis and respiration. *Toxicol. Environ. Chem.* 40, 235-254.
- Parravicini V., Svardal K., Hornek R. e Kroiss H. (2008). Aeration of anaerobically digested sewage sludge for COD and nitrogen removal: optimization at largescale. *Water Science and Technology* 57, 257e264.
- Passino (1980). “La conduzione degli impianti di depurazione delle acque di scarico”. E.S.A.C. Edizioni scientifiche A. Cremonese – Roma.
- Pavan P., Cecchi F., Bolzonella D. (2007). Digestione anaerobica e smaltimento di FOP: pretrattamenti, soluzioni tecniche e bilanci di massa. In “Biogas da frazioni organiche di rifiuti solidi urbani in miscela con altri substrati”, atti del 62° Corso di aggiornamento in Ingegneria Sanitaria-Ambientale del Politecnico di Milano, 7-10 maggio 2007, Milano.
- Pavlostathis S. G., Giraldo-Gomez E. (1991). “Kinetics of anaerobic Treatment: A critical review”. *Critical Reviews in Environmental Control* Vol. 21, Iss.5-6.
- Pérez-Elvira, S.I., Nieto Diez, P. e Fdz-Polanco, F. (2006). “Sludge minimisation technologies”. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 5, 375–398.
- Piccinini S., Centemero M. (2007). L’integrazione fra la digestione anaerobica e il compostaggio. In “Biogas da frazioni organiche di rifiuti solidi urbani in miscela con altri substrati”, atti del 62° Corso di aggiornamento in Ingegneria Sanitaria-Ambientale del Politecnico di Milano, 7-10 maggio 2007, Milano.
- Pollice A., Laera G., Saturno D. e Giordano C. (2004). “Effects of sludge retention time on the performance of a membrane bioreactor treating municipal sewage”. *Journal of Membrane Science* 317 (2008) 65–70.
- S.A. Pullano, M.G. Bianco, C.D. Critello, LAGANÀ F, D. Menniti, F. Ruberto, R. Tiriolo and A.S Fiorillo (2014). "Biomass Plant and Sensors Network for Process Monitoring and Energy Storage in a Superconducting Magnetic Device". *RIGAS TEHNISKAS UNIVERSITATES ZINATNISKIE RAKSTI. 15.SERIJA, VIDES TEHNOGENAS DROSIBAS ZINATNISKAS PROBLEMAS*, vol. 6, p. 2255-6923, ISSN: 2255-6923
- Rada E. C., Ragazzi M., Ziglio G. (2006). La valorizzazione energetica dei fanghi di depurazione – Raccolta di contributi. Quaderni del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale. Università degli Studi di Trento.
- Ragazzi M., Rada E. C., Cocarta D., Venturi M., Mallocci E., Bianchi M., Crescimanno A. (2006). Combustione diretta e indiretta di fanghi. In “La valorizzazione energetica dei fanghi di depurazione” -Università di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Quaderni del Dipartimento, SAN 5.
- Ramadori R. Di Iaconi C., Lopez A. e Passino R. (2006). “An innovative technology based on aerobic granular biomass for treating municipal and/or industrial wastewater with low environmental impact”. *Water Science and Technology*, 53(12), 321-329.
- Rapporto annuale 2011 – compost e biogas. Roma, Ottobre 2011.
- Rocher M., Roux G., Goma G., Pilas-Begue A., Louvel L. e Rols J.L. (2001). “Excess sludge reduction in activated sludge processes by integrating biomass alkaline heat treatment”. *Wat. Sci. Tech.* 44, 437-444.
- Rosenberger S., Krüger U., Witzig R., Manz W., Szewzyk U. e Kraume M. (2002). “Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal wastewater”. *Water res.* 36(2), 413-420.
- Rosenberger S., Krüger U. Witzig R., Manz W., Szewzyk U. e Kraume M. (2002). “Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal waste water, *Water Res.* 36 413–420.
- ROUTES - Novel processing routes for effective sewage sludge management. http://cordis.europa.eu/fp7/home_it.html
- Saby S., Djafer M. e Chen G.-H. (2003). “Effect of low ORP in anoxic sludge zone on excess sludge production in oxic-settling-anoxic activated sludge process”. *Wat. Res.* 37 (1), 11-20.
- Saiki Y., Imabayashi S., Iwabuchi C., Kitagawa Y., Okumura Y. e Kamamura H. (1999). Solubilization of excess activated sludge by self-digestion. *Wat. Res.* 33 (8), 1894-1870.
- Sanin F.D., Clarkson W.W. e Vesilind P.A. (2008). “Sludge engineering. The treatment and disposal of wastewater sludge”. DEStech Publications Inc. ISBN 978-1-932078-87-9.
- Show, K.Y., Mao, T.H. e Lee D.J. (2007). Optimisation of sludge disruption by sonication. *Water Res.* 41, 4741–4747.
- Show, K.Y., Tay, J.H., and Hung, Y.T. (2010). Ultrasound pre-treatment of sludge for anaerobic digestion. In: Wang, L.K., Tay, J.H., Tay, S.T.L., and Hung, Y.T. (Eds.), *Handbook of environmental engineering, Vol. 11: Environmental Bioengineering*, (pp. 53– 73). Springer, Humana, Press: USA.
- Slavik E. (2009) “Tecnologia combinata di ossidazione ad umido dei fanghi biologici e delle acque di rifiuto”. In “Atti Hydrica 2009”, Ferrara, Settembre.

- Song K.-G., Choung Y.-K., Ahn K.-H., Cho J. e Yun H. (2003). "Performance of membrane bioreactor system with sludge ozonation process for minimization of excess sludge production". *Desalination*, 157, 353-359.
- Song Y.-C., Kwon S.-J., Woo J.-H. (2004). "Mesophilic and thermophilic temperature co-phase anaerobic digestion compared with single-stage mesophilic- and thermophilic digestion of sewage sludge" *Water Research*, 38, 1653-1662.
- Song Yu-Dong e Hu Hong-Ying (2006). "Isolation and characterization of thermophilic bacteria capable of lysing microbial cells in activated sludge". *Water Sci. e Tech.* Vol 54 No 9 pp. 35-43.
- Spinosa L. (1990). "Disidratazione dei fanghi". In: "Trattamento delle acque di rifiuto". Istituto per l'Ambiente, Milano.
- Testo Estratto dal sito del Ministero dello Sviluppo Economico: <http://www.uibm.gov.it/index.php/brevetti>.
- Tokumura M., Katoh H., Katoh T., Znad H.T., Kawase Y. (2009). "Solubilization of excess sludge in activated sludge process using the solar photo-Fenton reaction". *Journal of Hazardous Materials* 162 (2009) 1390-1396.
- Tomei M.C. e Ramadori R. (2002): "ASCAM (Activated Sludge Computer Aided Modelling) Teoria e manuale d'uso del software". *Quaderno Istituto di Ricerca Sulle Acque*, 117, pp123. ISSN 0390-6329.
- Tomei M.C., Rita S., Mininni G. (2011). "Performance of sequential anaerobic/aerobic digestion applied to municipal sewage sludge". *Journal of Environmental Management*, 92, 1867-1873.
- Valeri R., Caregnato F. (2008). Ipotesi di recupero energetico mediante termodistruzione dei fanghi di risulta di un grande impianto di depurazione di acque reflue – SIDISA, Firenze, 25-27 giugno.
- Valin, S.D. and Sutherland, D.J. 1982. Predicting bioflocculation: new developments in the application of flocculation theory. *Environ. Technology. Lett.*, 3: 363-374.
- Visvanathan C., Ben Aim R. e Parameshwaran K. (2000). Membrane separation bioreactors for wastewater treatment. *Critical Rev. Environ. Sci. technol.* 30, 1-48.
- Vollmeier T. e Macchi R. (2008). Sistemi integrati di smaltimento termico dei fanghi - SIDISA, Firenze, 25-27 giugno.
- Wagner J. e Rosenwinkel K.H. (2000). "Sludge production in membrane bioreactors under different conditions". *Water Science and Technology*, 41(10-11), 251-258.
- Wang W., Jung Y.J, Kiso Y, Yamada T., Min K.S. (2006). "Excess sludge reduction performance of an aerobic SBR process equipped with a submerged mesh filter unit".
- Wang Y., Wei Y. e Liu J. (2009). "Effect of H2O2 dosing strategy on sludge pretreatment by microwave-H2O2 advanced oxidation process". *Journal of Hazardous Materials*, 169, 680-684.
- Werther J., Ogada T. (1999). Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 25, pp. 55-116.
- Xie M.L. (2002). Utilization of 8 kinds of metabolic uncouplers to reduce excess sludge production from the activated sludge process. Master Thesis, Beijing Technol. Busniss University.
- Yamamoto K., Hiasa M., Mahmood T. e Matsuo T. (1989). Direct solid-liquid separation using hollow fibre membrane in an activated sludge aeration tank. *Water Science Technologies* 21:43-54.
- Záborská J., Dohányos M., Jeníček P. e Kutil J. (2006). Disintegration of excess activated sludge – evaluation and experience of full-scale applications. *Water Sci. Technol.* 53 (12): 229-236
- Zhang P., Zhang G. e Wang W. (2007). Ultrasonic treatment of biological sludge: Floc disintegration, cell lysis and inactivation. *Bioresource Technology*, 98(1), 207-210.
- Zubay G.L. (1998). *Biochemistry*. WCB Publisher, Boston
- Zupančič G.D. e Roš M. (2008). "Aerobic and two-stage anaerobic-aerobic sludge digestion with pure oxygen and air aeration". *Bioresource Technology*, 99, 100-109.

APPENDICE Uso delle Norme e Procedure Brevettuali

Oggi in Italia sono attivi circa 15.000 impianti di depurazione municipali, la maggior parte dei quali di potenzialità inferiore a 2.000 AE e che trattano circa 5,5 miliardi di m³/anno di acque di scarico. Dalla depurazione si originano circa 4,2 milioni di t/anno di fanghi (stima) e le acque depurate e fanghi sono “prodotti della depurazione” potenzialmente valorizzabili per un recupero di materia e/o energia.

La valorizzazione a fini energetici o materiali delle risorse acqua e fango richiede garanzie in termini di qualità del prodotto, affinché lo sfruttamento rappresenti un vero beneficio per l'ambiente. Di conseguenza gli impianti di depurazione sono da considerare veri e propri “processi produttivi” con la necessità di garantire un funzionamento affidabile e con l'obiettivo (ambizioso) da conseguire in un regime di scarsità di risorse.

Scopo primario, quindi, è il corretto e pieno funzionamento degli impianti per poter sfruttare al meglio le strutture esistenti. In seconda istanza è adottare interventi più costosi (strutturali) per il conseguimento di determinati obiettivi. Il traguardo del riutilizzo come stimolo per avviare un processo di progressiva ottimizzazione del funzionamento degli impianti, che investa dapprima le procedure gestionali e in secondo luogo, se necessario, porti all'upgrading strutturale. Pertanto si arriverebbe ad un duplice risultato atteso, ovvero l'incremento delle prestazioni e la riduzione dei costi di gestione.

Il fango, quale materiale di riciclo e riutilizzo in ambito agricolo, è il prodotto finale di una lunga lavorazione che ha viste impegnate le società vincitrici del bando regionale in esame.

In questi ultimi anni il tema dell'utilizzo in agricoltura dei fanghi derivanti dal trattamento delle acque reflue è assunto a livelli di

Uso ed applicazione delle norme

attenzione degni di nota in parte perché i fanghi possono essere oggetto di recupero per ricavarne fertilizzanti ed ammendanti per il terreno e, in parte perché possono essere utilizzati tal quali per lo spandimento in agricoltura. Ecco, dunque, l'interesse e l'impegno per questo nuovo emergente settore che ha visto operare le nostre società che, partendo dalla materia prima, attraverso una serie di fasi tra di loro concatenate ma singolarmente curate, sono riuscite ad ottenere un prodotto finale di eccellente qualità e, soprattutto, rispondente ai dettami normativi vigenti nell'ambito di riferimento.

Non può non evidenziarsi invero che i fanghi, prodotti dal processo di depurazione delle acque reflue urbane, utilizzati come fertilizzanti in agricoltura per il loro alto contenuto di sostanze organiche e di minerali come azoto, fosforo e potassio, sono soggetti, causa possibile presenza di composti organici nocivi e metalli pesanti, ad un controllo qualitativo pressante che rende il loro smaltimento alquanto macchinoso. Seppur il riutilizzo agronomico dei fanghi rappresenti, dunque, una valida soluzione al problema del loro smaltimento e possa considerarsi interessante per l'efficacia agronomica ed economica, in quanto in grado di sostituire quasi completamente la concimazione chimica o altri tipi di concimazione organica, l'utilizzo in termini di fertilizzanti naturali presenta notevoli criticità.

Sotto il profilo giuridico, i fanghi di depurazione sono infatti dei **rifiuti** e, in quanto tali, disciplinati dal D.lgs. 152/06 e s.m.i., ivi comprese tutte le connesse attività di deposito, trattamento e trasporto, fatto salvo il D.lgs. 27 gennaio 1992, n. 99 che, nel recepire la Direttiva UE 86/271/Cee, statuisce che l'utilizzo in agricoltura dei fanghi è sottoposto alle seguenti condizioni:

- 1) Sottoposizione a trattamento (trattamento biologico, chimico o termico, a deposito a lungo termine ovvero ad altro opportuno procedimento);
- 2) Idoneità a produrre un effetto concimante e/o ammendante e correttivo del terreno;
- 3) Assenza di sostanze tossiche e nocive e/o persistenti, e/o biodegradabili in concentrazioni dannose per il terreno, per le colture, per gli animali, per l'uomo e per l'ambiente in generale;
- 4) Concentrazione inquinanti nei fanghi non superiore ai valori limite per le concentrazioni di metalli pesanti e di altri parametri stabiliti nell'allegato I B;

- 5) Concentrazione di uno o più metalli pesanti nel suolo non superiore ai valori limite fissati nell'allegato I A.

L'art. 2 del D.lgs. 99/92 definisce infatti “*utilizzazione: il recupero dei fanghi ... mediante il loro spandimento sul suolo o qualsiasi altra applicazione sul suolo e nel suolo*”. Tale operazione di recupero è riconducibile a R10 – Trattamento in ambiente terrestre a beneficio dell'agricoltura o dell'ecologia (All. C alla Parte IV del D.lgs. 152/06) ossia all'operazione tipicamente richiesta per l'effettuazione dell'attività di recupero mediante utilizzo dei fanghi in agricoltura.

Un rifiuto, in buona sostanza, cessa di essere tale allorquando soddisfa i criteri di cui all'art. 184 ter D.lgs. 152/06 ovvero:

- a) È stato sottoposto ad un'operazione di recupero, incluso il riciclaggio e la preparazione per il riutilizzo;
- b) La sostanza o l'oggetto è comunemente utilizzato per scopi specifici;
- c) Esiste un mercato per tale sostanza od oggetto;
- d) Soddisfa i requisiti tecnici per gli scopi specifici e rispetta la normativa e gli standard esistenti applicabili ai prodotti;
- e) Non porterà ad impatti complessivi negativi sull'ambiente e sulla salute dell'uomo.

Ciò posto, il DM Ambiente 5 febbraio 1998 pone le basi per effettuare una corretta attività di recupero dei fanghi-rifiuto nell'ottica di un riutilizzo/recupero del prodotto attraverso un processo di trasformazione/compostaggio in sostanza organica e/o combustibile, mentre il Decreto 27 settembre 2010 si preoccupa di definire i criteri di ammissibilità dei rifiuti, sottoposti al trattamento di cui sopra, in discarica. Attualmente, il D.L. “Emergenze”, in vigore dal 29 settembre 2018 – che reca disposizioni emergenziali sul territorio di Genova e la ricostruzione del ponte crollato oltre che misure sul sisma che ha toccato il centro-Italia nel 2016 e 2017, statuisce all'art. 41 che, in attesa di rivedere tutta la normativa già sopra citata afferente il settore in esame, occorre in ogni caso considerare quale punto di riferimento il D.lgs. 99/1992 e, in particolare, i valori massimi dei metalli ivi indicati nell'Allegato B, eccezion fatta per gli idrocarburi C10-C40 - ovvero per il fango tal quale fuoriesce dai depuratori - per i quali il limite di 1000 mg/kg si intende rispettato se la ricerca di marker di cancerogenicità fornisce valori inferiori a quelli definiti nella Nota L contenuta nell'Allegato VI del Regolamento CLP 1272/2008/Ce richiamata dalla Decisione 955/2014/UE. L'incremento

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

di produzione di fanghi, le normative di indirizzo sulla gestione dei rifiuti (priorità di gestione) e le limitazioni sullo smaltimento in discarica dei rifiuti organici recuperabili, nonché valutazioni economiche portano dunque a considerare con maggiore attenzione le possibilità di riutilizzo/recupero dei fanghi ed in questo le società interessate dal presente bando regionale hanno indirizzato la loro attività. Specificatamente, il lavoro si è suddiviso nella fase di monitoraggio dei consumi energetici effettuati dall'impianto di depurazione, dove, insieme alla Cooperativa TEC si è ideato e messo a punto un prototipo informatico in grado di monitorare i consumi energetici dell'impianto preso ad esame sia in fase iniziale sia durante la lavorazione vera e propria del fango, ovvero durante la fase che porta alla trasformazione del rifiuto in materiale riutilizzabile in ambito agricolo. Parimenti, insieme alla società NEXT s.r.l. si è indirizzata l'attività rivolta al trattamento chimico-fisico del fango ideando e mettendo a punto un sistema ad ultrasuoni per la riduzione del fango. L'attenzione prestata in detta attività ha fatto sì che venissero, dunque, creati dei nuovi prototipi in grado di migliorare le prestazioni di utilizzo del fango, trasformandolo da rifiuto a prodotto di consumo.

Brevetti

Un brevetto tutela e valorizza un'innovazione tecnica, ovvero un prodotto o un processo che fornisce una nuova soluzione a un determinato problema tecnico. È un titolo in forza del quale viene conferito un monopolio temporaneo di sfruttamento sull'oggetto del brevetto stesso, consistente nel diritto esclusivo di realizzarlo, di disporne e di farne un uso commerciale, vietando tali attività ad altri soggetti non autorizzati.

In particolare, il brevetto conferisce al titolare:

- a) Nel caso in cui l'oggetto del brevetto sia un prodotto, il diritto di vietare ai terzi, salvo consenso del titolare, di produrre, usare, mettere in commercio, vendere o importare a tali fini il prodotto in questione;
- b) Nel caso in cui l'oggetto del brevetto sia un procedimento, il diritto di vietare ai terzi, salvo consenso del titolare, di applicare il procedimento, nonché di usare, mettere in commercio, vendere o importare a tali fini il prodotto direttamente ottenuto con il procedimento in questione.

È importante notare che un brevetto non attribuisce al titolare la “libertà di uso” o il diritto di sfruttare la tecnologia coperta dal brevetto, ma solo il diritto di escludere dall’utilizzo dello stesso altri soggetti.

Possono costituire oggetto di brevetto:

- a) [Le invenzioni industriali](#);
- b) [I modelli di utilità](#);
- c) Le nuove varietà vegetali.

Più propriamente si definisce:

- a) Brevetto, il titolo per le invenzioni industriali e i modelli di utilità;
- a) Privativa, il titolo per le nuove varietà vegetali.

Nel linguaggio tecnico dei brevetti, **un’invenzione è definita come una soluzione nuova e innovativa in risposta a un problema tecnico.**

Invenzione industriale

L’invenzione può fare riferimento alla creazione di un congegno, prodotto, metodo o procedimento completamente nuovo o può semplicemente rappresentare un miglioramento di un dato prodotto o procedimento già esistente. La mera scoperta di qualcosa che già esiste in natura non può essere qualificata come un’invenzione. Pertanto possono essere oggetto di brevetto le invenzioni nuove, che implicano un’attività inventiva e che sono atte ad avere un’applicazione industriale (oltre, ovviamente, a essere lecite, ovvero non contrarie all’ordine pubblico e al buon costume).

Novità - Secondo l’art. 46 CPI l’invenzione non deve essere già compresa nello stato della tecnica; ove per stato della tecnica si intende tutto ciò che è stato reso accessibile al pubblico, in Italia o all’estero, prima della data del deposito della domanda di brevetto mediante descrizione scritta od orale, una utilizzazione o un qualsiasi altro mezzo. Ad esempio, se un’invenzione identica a quella oggetto della domanda di brevetto è già stata realizzata da un terzo, ma mai divulgata, sarà possibile procedere ugualmente al deposito della domanda; se, invece, quest’ultimo l’ha già esposta in una fiera, l’altrui invenzione non potrà più essere considerata nuova. Allo stesso modo, la pubblicazione dell’invenzione in un giornale scientifico, la relativa presentazione in una conferenza, l’utilizzo in ambito commerciale, l’esposizione in un catalogo costituiscono atti in grado di annullare la novità dell’invenzione e, quindi, di renderla non brevettabile (e ciò anche nel caso che la predivulgazione sia opera dello stesso autore dell’innovazione). È pertanto importante impedire la rivelazione

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

accidentale delle invenzioni prima di depositare una domanda di brevetto e – laddove sia necessario comunicare a terze informazioni confidenziali inerenti a tale invenzione – far sottoscrivere a questi ultimi accordi di segretezza appositamente predisposti che li obblighino a non divulgare le predette informazioni in maniera non autorizzata.

Attività inventiva – L’art. 48 CPI precisa che un’invenzione implica un’attività inventiva quando, per una persona esperta in quel particolare campo tecnologico, non risulta in modo evidente dallo stato della tecnica. Il requisito della non ovvietà intende assicurare che i brevetti siano concessi solo a risultati oggetto di un processo inventivo o creativo e non a processi che una persona, con ordinaria abilità nel campo tecnologico relativo, potrebbe facilmente dedurre da quanto già esiste. Esempi di una insufficiente attività inventiva, secondo quanto statuito dalle Corti di giustizia di diversi Paesi, sono: il mero cambio di un’unità di misura, il rendere un prodotto portatile, la sostituzione e il cambiamento di un materiale, la sostituzione di una parte con un’altra avente ugual funzionamento. Come pure è stata reputata non brevettabile l’applicazione di una precedente invenzione a un campo diverso da quello in cui l’invenzione originaria è stata concepita, poiché il tecnico medio del settore avrebbe potuto arrivare senza difficoltà alla soluzione tecnica proposta dal secondo brevetto. Può essere brevettata, viceversa, l’invenzione di una combinazione che applichi una formula nota a un processo anch’esso noto, sempre però che ne derivi un quid novi, consistente in un progresso dello stato della tecnica.

Industrialità – Secondo l’art. 49 CPI, un’invenzione è considerata atta ad avere un’applicazione industriale se il suo oggetto può essere fabbricato o utilizzato in qualsiasi genere di industria, compresa quella agricola. Un’invenzione non può pertanto essere un semplice processo intellettuale, ma deve essere producibile, utile e in grado di generare effetti pratici. Per essere brevettabile, deve poter essere oggetto di utilizzazione industriale, ove il termine “industriale” è qui inteso nel suo più ampio significato, come un qualcosa di distinto dall’attività puramente estetica o speculativa.

Cos’è un modello di utilità

L’art. 82 CPI prevede che possono costituire oggetto di brevetto per modello di utilità i **nuovi modelli** atti a conferire particolare **efficacia o comodità di applicazione o di impiego di macchine o parti di esse, strumenti, utensili ovvero oggetti di uso in genere**, quali i nuovi

modelli consistenti in particolari conformazioni, disposizioni, configurazioni o combinazioni di parti. Per essere protetto con modello di utilità è necessario che il prodotto industriale sia nuovo e originale e che abbia particolare efficacia o comodità di applicazione o di impiego. È a volte difficile distinguere un modello di utilità da un'invenzione. Molti considerano il modello di utilità come “una piccola invenzione”. Si dice anche che si ha invenzione quando si realizza un prodotto nuovo, mentre si ha modello di utilità quando si migliora un prodotto già esistente.

Depositare una domanda di brevetto (o una privativa è **una scelta strategica da valutare con attenzione**. Non sempre è opportuno procedere: se un'invenzione è brevettabile, infatti, non necessariamente consegue che essa produrrà un prodotto o una tecnologia valida dal punto di vista commerciale. Prima di depositare una domanda è pertanto essenziale **effettuare un'attenta valutazione**, unitamente a **un'analisi delle possibili alternative**. Un brevetto può essere difficile e costoso da ottenere, amministrare e proteggere. La sua domanda dovrebbe essere basata soprattutto sulle probabilità di ricevere una protezione commercialmente utile e, di conseguenza, sulle possibilità di ottenere significativi profitti attraverso un suo eventuale utilizzo commerciale.

I fattori da prendere in considerazione per decidere se depositare una domanda di brevetto per invenzione (ma lo stesso vale per un modello d'utilità o una nuova varietà vegetale) includono:

- a) Esiste un mercato su cui lanciare la vostra invenzione?
- b) Esistono invenzioni simili a quelle della vostra azienda?
- c) L'invenzione è utile per migliorare un prodotto esistente o piuttosto per sviluppare un nuovo prodotto? in questo caso, è in linea con la strategia?
- d) Ci sono potenziali licenziatari e investitori che saranno disposti ad aiutarvi a lanciare il prodotto sul mercato?
- e) Quale sarà l'importanza dell'invenzione per la vostra azienda e per i concorrenti?
- f) Quanto è facile risalire al progetto della vostra invenzione a partire dal prodotto o dal suo design?
- g) Quali sono le probabilità che altri hanno di inventare e brevettare ciò che voi avete inventato?

Brevettare in Italia

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

- h) Gli attesi profitti derivanti dalla posizione che si prevede di raggiungere nel mercato giustificano i costi del brevetto?
- i) Quali aspetti dell'invenzione possono essere protetti da uno o più brevetti?
- j) Quanto può essere ampia questa copertura e in che misura quest'ultima potrà fornire una protezione commercialmente utile?
- k) Quanto facile sarà identificare la violazione da parte di terzi dei diritti di brevetto da voi detenuti?
- l) Siete disposti ad investire tempo e risorse finanziarie per proteggere il vostro brevetto?

Per diventare titolare di un brevetto per invenzione o modello di utilità a livello nazionale, occorre presentare domanda di deposito presso l'Ufficio Italiano Brevetti e Marchi (UIBM). In questa sezione sono fornite tutte le informazioni utili per procedere in tal senso: soggetti abilitati, modalità e procedure, tempi e costi dell'operazione.

Possono costituire oggetto di brevetto le **invenzioni nuove** che implicano **un'attività inventiva** e sono **atte ad avere un'applicazione industriale**. In pratica non sono considerate invenzioni e, quindi, non sono brevettabili, le semplici intuizioni oppure le idee prive di qualsiasi attuazione concreta. Ad esempio: la semplice dimostrazione che l'idrogeno è una fonte di energia è una scoperta non brevettabile, mentre l'applicazione di tale scoperta al fine della creazione di un motore che produca energia utilizzando l'idrogeno è, viceversa, brevettabile.

Gli stessi principi valgono per i modelli di utilità, che devono essere nuovi e originali e avere particolare efficacia o comodità di applicazione o di impiego.

Non sono inoltre considerate come invenzioni:

- a) Le scoperte, le teorie scientifiche e i metodi matematici;
- b) I metodi per il trattamento chirurgico, terapeutico o di diagnosi del corpo umano o animale (pur essendo brevettabili i prodotti, le sostanze o le miscele di sostanze per l'attuazione di tali metodi);
- c) I piani, i principi e i metodi per attività intellettuale, per gioco o per attività commerciali;
- d) I programmi per elaboratori (software), protetti in Italia dal diritto d'autore;
- e) Le presentazioni di informazioni;

- f) Le razze animali e i procedimenti essenzialmente biologici per l'ottenimento delle stesse, a meno che non si tratti di procedimenti microbiologici o di prodotti ottenuti mediante questi procedimenti.

È altresì evidente che non possono essere oggetto di protezione da brevetto:

- a) Le creazioni estetiche;
- b) Schemi, regole e metodi per compiere atti intellettuali;
- c) La scoperta di sostanze disponibili in natura;
- d) Le invenzioni contrarie all'ordine pubblico e al buon costume, alla tutela della salute, dell'ambiente, e della vita delle persone e degli animali, alla preservazione della biodiversità e alla prevenzione di gravi danni ambientali.

La domanda di brevetto è respinta se:

- a) L'oggetto è privo dei predetti requisiti;
- b) L'oggetto rientra nelle fattispecie espressamente vietate e/o escluse dalla brevettabilità;
- c) La descrizione non è sufficientemente chiara e/o completa.

Il diritto al brevetto spetta all'**autore** dell'invenzione o del modello o ai suoi aventi causa.

Quando l'invenzione (ma lo stesso vale per il modello di utilità) è fatta nell'esecuzione o nell'adempimento di un contratto o di un rapporto di lavoro o di impiego, in cui l'attività inventiva è prevista come oggetto del rapporto, e a tale scopo retribuita, titolare del diritto di brevetto è il datore di lavoro, mentre all'autore del trovato è riservato il diritto di esserne riconosciuto autore. Se, peraltro, pur essendoci rapporto di lavoro, l'attività inventiva non è l'oggetto di tale rapporto, il lavoratore-inventore ha diritto (qualora il datore di lavoro ottenga il brevetto) anche a un equo premio. Al di fuori delle due ipotesi precedenti, il datore di lavoro ha solo un diritto di opzione se il trovato ottenuto è ricompreso nel settore di attività dell'azienda.

Più in dettaglio:

Inventori dipendenti della società. In Italia, come in numerosi altri Paesi, le invenzioni sviluppate in presenza di un rapporto di lavoro subordinato sono assegnate in linea di principio al datore di lavoro. Tuttavia, l'art. 64 del CPI distingue tre diverse situazioni:

- a) Qualora l’invenzione industriale sia realizzata nell’esecuzione di un contratto o di un rapporto di lavoro in cui l’attività inventiva è prevista come oggetto del contratto e a tale scopo retribuita, i diritti derivanti dall’invenzione stessa appartengono al datore di lavoro;
- b) Qualora non sia prevista una retribuzione in compenso dell’attività inventiva, i diritti derivanti dall’invenzione appartengono al datore di lavoro, ma all’inventore, salvo sempre il diritto di essere riconosciuto come tale, spetta, qualora il datore di lavoro ottenga il brevetto, un equo premio, per la determinazione del quale si terrà conto dell’importanza della protezione conferita all’invenzione dal brevetto, delle mansioni svolte e della retribuzione percepita dall’inventore, nonché del supporto tecnico che questi ha ricevuto dall’organizzazione aziendale;
- c) Qualora si tratti di invenzione industriale che rientri nel campo di attività del datore di lavoro, quest’ultimo ha il diritto di opzione per l’uso esclusivo o non esclusivo dell’invenzione ovvero per l’acquisizione del brevetto, nonché ha la facoltà di chiedere ovvero acquisire per la medesima invenzione brevetti all’estero a fronte di corresponsione del canone del prezzo, da fissarsi con deduzione di una somma corrispondente agli aiuti che l’inventore abbia comunque ricevuto dal datore di lavoro per pervenire all’invenzione. Il diritto di opzione ha comunque durata limitata, in quanto va esercitato entro tre mesi dalla data di ricevimento della comunicazione dell’avvenuto deposito della domanda di brevetto. In questo caso si parla anche di invenzione occasionale.

Invenzioni delle Università. L’art. 65 CPI prevede che, quando il rapporto di lavoro intercorre con un’Università o con una Pubblica Amministrazione avente tra i suoi scopi istituzionali finalità di ricerca, il ricercatore è titolare esclusivo dei diritti derivanti dall’invenzione brevettabile di cui è autore. In caso di più autori, dipendenti di Università, delle Pubbliche Amministrazioni predette ovvero di altre

pubbliche amministrazioni, i diritti derivanti dall'invenzione appartengono a tutti in parti uguali, salvo diversa pattuizione.

Consulenti. Accade sempre più di frequente che lo svolgimento di attività inventiva venga affidato a lavoratori autonomi. In Italia, i contratti di ricerca si differenziano fortemente, in ragione della qualifica pubblica o privata delle parti, ma anche per l'oggetto del contratto stesso. Sono in generale riconducibili allo schema dell'appalto o del contratto di opera e vanno definiti e previsti attentamente.

Inventori congiunti. Quando più di una persona contribuisce in maniera rilevante all'ideazione e alla realizzazione di un'invenzione, tali soggetti sono definiti come inventori congiunti e, per tale motivo, devono essere tutti espressamente menzionati nella relativa domanda di brevetto. Se gli inventori congiunti sono anche coloro che presentano la relativa domanda di brevetto, quest'ultimo verrà concesso congiuntamente ad essi.

Proprietari congiunti. Si parla di invenzione di gruppo.

L'applicazione e lo sfruttamento di brevetti, che appartengono a più entità o persone, spettano a tutti i contitolari e sono disciplinati dalle regole sulla comunione. I contitolari sono obbligati in solido al pagamento delle tasse di brevetto. Il titolare del diritto di brevetto può presentare domanda di deposito personalmente ovvero eleggere un rappresentante scelto tra i consulenti in proprietà industriale, iscritti in apposito albo professionale tenuto dall'Ufficio Italiano Brevetti e Marchi, o tra gli avvocati iscritti nei rispettivi albi. La nomina del mandatario può essere fatta nella domanda di deposito; in tal caso la domanda deve essere firmata congiuntamente dal richiedente e dal suo mandatario. Altresì la nomina può essere fatta con un separato atto, che può consistere in una procura notarile o in una lettera d'incarico. La procura notarile è un documento redatto da un notaio con il quale si conferisce incarico a voler seguire ogni procedura innanzi all'UIBM senza dover specificare né l'oggetto, né a quali domande (di marchio, di brevetto o modello ornamentale o altro) si riferisce la procura.

La lettera d'incarico può essere singola o multipla, a seconda riguardi, rispettivamente, una sola domanda o più domande di brevetto (che devono essere sempre indicate nella lettera). Può inoltre essere:

- a) *Specificca*: in quanto contiene l'indicazione dettagliata dei servizi che il consulente è tenuto a svolgere (la sola domiciliazione, l'iter parziale o totale del

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

deposito della domanda brevettuale, la consulenza in caso di opposizione, il ricorso alla Commissione dei Ricorsi avverso provvedimenti di diniego, ecc.;

- b) *Generale*: in quanto l’incarico conferito riguarda tutto l’iter per ottenere la registrazione richiesta, nonché il disbrigo di tutto ciò che concerne l’eventuale contenzioso.

Alla lettera di incarico deve essere apposta la marca da bollo di € 16,00.

In genere, è preferibile ricorrere alla protezione brevettuale **non appena si hanno tutte le informazioni necessarie per redigere la relativa domanda**. Tuttavia, grazie ad una serie di fattori, è possibile per il richiedente individuare il momento migliore per depositare una domanda di brevetto. In Italia, come in molti Paesi, i brevetti sono concessi in base al principio della priorità, il cosiddetto “*first to file*”, che prevede che sia il legittimo titolare colui che per primo procede al deposito della domanda. Pertanto, la tempestività del deposito è un fattore determinante per il riconoscimento della titolarità, al contrario di quanto avviene negli Stati Uniti, dove vige il principio del “*first to invent*”, secondo cui nel caso di richieste di brevetti simili depositati, il brevetto sarà concesso a colui che per primo ha ideato e realizzato l’invenzione, indipendentemente da chi per primo abbia presentato la domanda di brevetto.

Talvolta, però, il deposito troppo prematuro può rivelarsi controproducente. Infatti:

- a) Se si procede troppo presto al deposito della domanda di brevetto, considerando che la domanda rimane segreta per 18 mesi, il richiedente ha sì la possibilità di riflettere circa l’opportunità di dare seguito alla procedura di esame, ma non può apportare cambiamenti sostanziali alla descrizione originariamente depositata;
- b) L’Italia è membro della Convenzione di Parigi e pertanto, una volta depositata la domanda, sono previsti ulteriori 12 mesi per depositare la domanda relativa alla stessa invenzione in tutti quei Paesi che possono, a vario titolo, essere interessati al campo di applicazione a cui si riferisce l’invenzione godendo, in questo modo, nei confronti dei medesimi Paesi, dei

benefici che derivano dalla data di deposito della prima domanda.

Non è possibile chiedere in Italia un brevetto provvisorio, a differenza di alcuni altri Paesi, come ad esempio gli Stati Uniti.

La procedura per ottenere un brevetto è piuttosto articolata: comincia con la ricerca di anteriorità, al fine di evitare inutili dispendi di tempo e denaro, e si conclude – in caso positivo – con il rilascio dell’attestato di concessione, al termine di una serie di verifiche ed esami, sia formali sia sostanziali.

Prima di presentare domanda di brevetto è opportuno **assicurarsi che il brevetto sia conforme alle prescrizioni di legge e possedga tutti i requisiti richiesti**, in particolare quello della novità.

A tal fine è utile effettuare in proprio una *ricerca d’antiorità* sullo stato dell’arte esistente (diversa da quella prevista d’ufficio a valle della presentazione della domanda): con milioni di brevetti concessi in tutto il mondo e milioni di pubblicazioni disponibili che costituiscono l’attuale stato dell’arte, ci sono infatti evidenti rischi che alcuni documenti o combinazioni degli stessi possano rendere l’invenzione non nuova o ovvia e, pertanto, non brevettabile. Una ricerca d’antiorità che sveli l’esistenza di pubblicazioni o brevetti nello stesso campo può prevenire un vano investimento di risorse su una domanda di brevetto che non può essere accolto. Un elenco degli uffici di proprietà intellettuale di diversi paesi che hanno reso disponibile in rete i loro database sui brevetti, in modo gratuito, è disponibile sul sito (WIPO): <http://www.wipo.int/reference/en/>.

È possibile effettuare delle ricerche preliminari anche sul database dell’Ufficio europeo dei brevetti (EPO): www.espacenet.com.

Una ricerca sullo stato dell’arte può essere realizzata basandosi su parole chiave, classificazioni di brevetti o altri criteri di ricerca; il suo successo dipende dalla strategia di ricerca impiegata, dal sistema di classificazione usato, dalle conoscenze tecniche del ricercatore e dalle banche dati utilizzate.

Altro passaggio necessario è l’individuazione delle classi di appartenenza dei brevetti per i quali si intende presentare la domanda, utilizzando le [classificazioni IPC o ECLA](#).

Le domande di brevetto sono strutturate in modo simile in tutto il mondo e sono composte di una domanda, un titolo e riassunto, una descrizione, una o più rivendicazioni, i disegni (se necessari). Una domanda di brevetto può variare da poche ad alcune centinaia di

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

pagine, in base alla specifica natura dell’invenzione e al settore tecnico di appartenenza.

La domanda contiene informazioni sul titolo dell’invenzione, la data del deposito, la data di priorità (se si rivendica una priorità interna o estera) e i dati anagrafici, quali il nome dell’inventore e il nome e l’indirizzo del richiedente. Ogni domanda di brevetto deve avere per oggetto una sola invenzione o modello d’utilità. Questa limitazione riguarda il cosiddetto criterio di unità d’invenzione, in mancanza della quale il richiedente può limitare le rivendicazioni ed eventualmente depositare una o più domande di brevetto (domanda divisionale). Se la domanda comprende più invenzioni, anche l’UIBM può intervenire d’ufficio, invitando l’interessato a limitare tale domanda a una sola invenzione, con facoltà di presentare, per le rimanenti invenzioni, altrettante domande, che avranno effetto dalla data della domanda primitiva.

È consentito a chi richiede un brevetto per invenzione industriale di presentare contemporaneamente domanda di brevetto per modello di utilità. È l’Ufficio a valutare se la domanda è concedibile come invenzione o come modello di utilità una volta che sono stati valutati tutti i requisiti. È inoltre possibile convertire la domanda di brevetto da invenzione a modello di utilità o viceversa.

Il titolo fornisce indicazioni dell’invenzione o del modello e ne esprime brevemente, ma con precisione, i caratteri e lo scopo. Il titolo può essere modificato dall’Ufficio se troppo lungo o se contiene nomi di fantasia. Il riassunto descrive brevemente l’invenzione o il modello e ha solo fini di informazione tecnica.

La descrizione deve mettere in risalto lo scopo dell’invenzione o del modello ovvero il problema tecnico che l’invenzione o il modello si prefigge di risolvere.

Un’invenzione è reputata sufficientemente descritta quando, attraverso l’esame del testo della domanda e dei documenti allegati, un tecnico esperto del settore è in grado di riprodurre il prodotto o il procedimento oggetto dell’invenzione senza dover ricorrere ad alcun ulteriore sforzo inventivo. Nel caso in cui la descrizione dell’invenzione non presenti tali caratteristiche, il brevetto non potrà essere concesso.

Nel dettaglio, secondo quanto indicato dall’art. 21 del Regolamento attuativo del CPI, il contenuto della descrizione deve:

- a) Specificare il campo della tecnica a cui l'invenzione fa riferimento;
- b) Indicare lo stato della tecnica preesistente, di cui l'inventore sia a conoscenza, utile alla comprensione dell'invenzione e all'effettuazione della ricerca, fornendo eventualmente riferimenti a documenti specifici;
- c) Esporre l'invenzione in modo tale che il problema tecnico e la soluzione proposta possano essere compresi;
- d) Descrivere brevemente gli eventuali disegni;
- e) Descrivere in dettaglio almeno un modo di attuazione dell'invenzione, fornendo esempi appropriati e facendo riferimento ai disegni, laddove questi siano presenti;
- f) Indicare esplicitamente, se ciò non risulti già ovvio dalla descrizione o dalla natura dell'invenzione, il modo in cui l'invenzione possa essere utilizzata in ambito industriale.

Le rivendicazioni determinano l'ambito di protezione richiesta. L'art. 52 del CPI dispone espressamente che "nelle rivendicazioni è indicato ciò che si intende debba formare oggetto del brevetto. I limiti della protezione sono determinati dalle rivendicazioni": ecco perché occorre fare estrema attenzione alla loro redazione. È su di essa che si fonda l'interpretazione del brevetto e la valutazione della sua forza. L'art. 21 del Regolamento attuativo del CPI precisa che le rivendicazioni devono essere chiare, concise e trovare completo supporto nella descrizione, nonché essere redatte in un documento separato secondo le seguenti formalità:

- a) Devono essere indicate con numeri arabi consecutivi;
- b) La caratteristica tecnica rivendicata deve essere esplicitamente descritta (il richiamo alle figure è consentito solo a scopo di maggior chiarezza);
- c) Le caratteristiche tecniche menzionate nelle rivendicazioni, qualora facciano riferimento ai disegni, possono essere seguite dal numero corrispondente alle parti illustrate dagli stessi, fermo restando che tale riferimento non costituisce una limitazione della rivendicazione.

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

Tramite i disegni è possibile visualizzare i particolari tecnici dell'invenzione e illustrare meglio alcune sue caratteristiche indicate nella descrizione. Il deposito dei disegni è facoltativo. Tuttavia, qualora essi vengano presentati, devono essere redatti secondo specifiche regole formali.

La domanda di brevetto deve essere redatta su apposito modulo.

Il deposito può essere effettuato:

- a) deposito on line <https://servizionline.uibm.gov.it>;
- b) presso una qualsiasi Camera di Commercio;
- c) inviata direttamente all'Ufficio Italiano Brevetti e Marchi, via Molise, 19 - 00187 Roma mediante servizio di posta che ne attesti il ricevimento.

Insieme al modulo di domanda (in originale più 2 copie) devono essere presentati i seguenti allegati:

- a) Un riassunto, senza disegni, la descrizione vera e propria e le rivendicazioni: i tre documenti devono essere allegati separatamente;
- b) Il disegno, o i disegni, dell'invenzione / modello di utilità (eventuale/i);
- c) La versione in lingua inglese delle rivendicazioni per le sole invenzioni per le quali non si rivendichi una priorità interna o estera; se non allegata, si devono corrispondere i previsti diritti di traduzione pari a € 200,00);
- d) La versione inglese del riassunto e della descrizione (opzionali);
- e) La ricevuta del pagamento F24 dei diritti all'Agenzia delle Entrate – Centro Operativo di Pescara;
- f) La lettera d'incarico, atto di procura o dichiarazione di riferimento a procura generale (se è stato nominato un mandatario abilitato);
- g) La designazione dell'inventore;
- h) Il documento di priorità (eventuale).

Le fasi della concessione di un brevetto variano a seconda dell'ufficio brevetti competente anche se, in maniera generale, esse tendono a seguire uno schema comune.

Le domande vengono esaminate dall'Ufficio brevetti secondo l'ordine cronologico di protocollo, per assicurarsi che contengano tutti i requisiti amministrativi di validità richiesti, ovvero tutta la

documentazione relativa sia acclusa e che le tasse di deposito siano state regolarmente pagate. L'esaminatore verifica anche i requisiti essenziali di validità del brevetto. L'eventuale integrazione dei documenti mancanti può avvenire:

- a) Su richiesta dell'Ufficio Italiano Brevetti e Marchi, entro il termine di due mesi dalla data della comunicazione della necessità di provvedere all'integrazione;
- b) Spontaneamente da parte del richiedente prima di ricevere la comunicazione dell'Ufficio.

A far data dal primo luglio 2008, ogni domanda di brevetto per invenzione che non richieda priorità è soggetta a una ricerca di anteriorità effettuata dall'Ufficio Europeo dei Brevetti sulla base di un accordo siglato da questi con l'UIBM. In considerazione del fatto che le relative spese sono sostenute dall'Ufficio Nazionale, nessuna tassa di ricerca è dovuta all'UIBM.

I risultati della ricerca vengono tempestivamente comunicati al titolare della domanda il quale, qualora la ricerca abbia fatto emergere carenze sostanziali della domanda, può decidere di inoltrare una replica all'UIBM, contenente osservazioni o eventuali emendamenti alla descrizione e/o alle rivendicazioni.

Lo scopo dell'esame sostanziale è di verificare che la domanda di brevetto soddisfi tutti i requisiti di brevettabilità. L'UIBM non verifica tuttavia il funzionamento effettivo dell'invenzione o del modello di utilità. Al termine della fase istruttoria, l'Ufficio provvede al rilascio o al rifiuto del brevetto, dandone comunicazione al richiedente (ovvero al suo legale rappresentante). Contro il provvedimento di rifiuto è ammesso ricorso entro il termine perentorio di 60 giorni dal ricevimento della comunicazione.

La domanda di brevetto viene resa accessibile 18 mesi dopo il primo deposito della stessa. Il titolare del brevetto può, tuttavia, richiederne la pubblicazione anticipata (comunque, non prima di 90 giorni dal deposito).

Se la procedura di esame si conclude positivamente, l'UIBM emette il relativo attestato di concessione.

Ai sensi dell'art. 53 del CPI, con la concessione del brevetto sono conferiti i diritti esclusivi considerati dal Codice. Gli effetti del brevetto però, decorrono dalla data in cui la domanda con la descrizione e gli eventuali disegni è resa accessibile al pubblico.

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

Decorso il termine di 18 mesi dalla data di deposito della domanda oppure dalla priorità, ovvero dopo 90 giorni dalla data di deposito della domanda se il richiedente ha dichiarato nella domanda stessa di volerla rendere immediatamente accessibile al pubblico, l'Ufficio pone a disposizione del pubblico la domanda e gli allegati. Nel caso in cui il richiedente voglia che la domanda di brevetto abbia effetti nei confronti di un terzo determinato in data ancora antecedente, può notificargli la domanda di brevetto e, in questo caso, gli effetti della domanda nei confronti del soggetto notificato decorrono dalla data della notifica.

Nel periodo che intercorre tra la presentazione della domanda e l'emissione del relativo attestato è possibile presentare un'istanza di ritiro se, per qualsiasi motivo, non si è più interessati al rilascio del brevetto.

L'istanza di ritiro, cui deve essere apposta la marca da bollo da 16,00 €, può essere presentata presso una qualunque Camera di Commercio oppure inviata direttamente all'UIBM tramite raccomandata con ricevuta di ritorno.

L'istanza deve riportare le indicazioni anagrafiche del richiedente (o dell'eventuale mandatario), il numero e la data di deposito della domanda che si intende ritirare, e deve essere firmata dal richiedente o, per incarico, dal mandatario.

I costi dipendono da diversi fattori quali ad esempio la modalità di presentazione e il numero di rivendicazioni. Queste le voci di spesa rispettivamente per invenzioni industriali e modelli di utilità.

Brevettare all'estero

I brevetti sono diritti territoriali, e pertanto sono protetti unicamente in quei Paesi e in quelle regioni, vale a dire determinati insiemi di Paesi, in cui sono stati concessi. In altri termini, se un brevetto è privo di protezione in un Paese, l'invenzione (o il modello di utilità, o la nuova varietà vegetale) potrà essere replicata, utilizzata, importata o venduta da chiunque in quel territorio. La protezione di un brevetto nei Paesi stranieri dà viceversa al titolare la possibilità di beneficiare degli stessi diritti esclusivi di cui gode in Italia. Brevettare all'estero serve inoltre ad ampliare lo spettro delle opportunità di concessione di licenze d'uso a imprese straniere, sviluppando rapporti esterni all'azienda e beneficiando di una modalità di accesso alternativa a mercati stranieri attraverso la collaborazione con altre aziende.

Poiché proteggere un brevetto all'estero è molto costoso, è opportuno selezionare attentamente i Paesi in cui richiedere tale protezione, verificando una serie di condizioni, tra cui:

- a) Dove sarà fabbricato il prodotto?
- b) Dove è più probabile che venga commercializzato il prodotto brevettato?
- c) Quali sono i principali mercati per prodotti simili?
- d) Dove sono i principali concorrenti?
- e) Quali sono i costi necessari per brevettare?
- f) Quali saranno le difficoltà procedurali per proteggere un brevetto in un dato Paese?

Chiunque abbia regolarmente depositato una domanda di brevetto d'invenzione o di modello di utilità in uno degli stati facenti parte della Convenzione di Parigi può fruire durante i successivi dodici mesi di un diritto di priorità per effettuare il deposito di una domanda di brevetto internazionale riguardante la medesima invenzione mantenendo all'estero la stessa data di validità nazionale.

Trascorsi i 12 mesi dalla data di deposito nazionale non sarà più possibile rivendicare la priorità.

È consigliabile presentare la rivendicazione della priorità contestualmente al deposito della domanda di estensione all'estero. Tale comunicazione può, però, essere presentata anche successivamente entro il termine di 16 mesi dalla data della prima priorità rivendicata.

Per far valere il diritto di priorità è necessario allegare alla domanda il documento di priorità, che consiste in una copia conforme della domanda nazionale di base rilasciata dall'ufficio brevetti nazionale presso cui è avvenuto il primo deposito.

Dopo la scadenza del periodo di priorità e fino a quando la domanda non viene pubblicata per la prima volta dall'Ufficio brevetti (generalmente dopo 18 mesi dalla data di priorità) in linea teorica potrebbe essere ancora possibile chiedere la protezione per la stessa invenzione in altri Paesi, ma non sarà più possibile rivendicare la priorità del primo deposito.

Occorre sottolineare che, una volta avvenuta la pubblicazione dell'invenzione, questa compromette il requisito della novità per gli eventuali depositi successivi.

Ci sono tre modalità principali per proteggere un'invenzione o un modello di utilità all'estero:

- a) **Il percorso nazionale.** Si può richiedere protezione presso l'Ufficio brevetti nazionale di ogni Paese di interesse, provvedendo al deposito della domanda di brevetto nella lingua prevista e pagando le relative tasse. In molti Paesi, inoltre, ai richiedenti stranieri è richiesto quale requisito di utilizzare i locali consulenti in proprietà industriale. Questo percorso può essere molto costoso, oltretutto scomodo, nel caso in cui il numero di Paesi sia ampio;
- b) **Il percorso regionale.** Quando molti Paesi sono membri di un sistema regionale di brevetti, è possibile inoltrare richiesta di protezione con effetto sui territori di tutti o di alcuni di questi Paesi, attraverso l'ufficio regionale competente: per l'Europa, l'Ufficio Europeo dei Brevetti - EPO (EPO);
- c) **Il percorso internazionale.** Se un'impresa intende proteggere un'invenzione o un modello di utilità in un certo numero di Paesi membri del Trattato di Cooperazione sui Brevetti (PCT – Patent Cooperation Treaty), può considerare l'opportunità di inoltrare una domanda internazionale di brevetto (PCT). Una sola domanda PCT, in una sola lingua e a fronte del pagamento di un unico gruppo di imposte, ha efficacia legale in tutti i Paesi membri PCT. Questo sistema riduce in modo significativo i costi iniziali della procedura, evitando che siano presentate singole domande per ogni Ufficio brevetti. Il PCT può anche essere utilizzato per inoltrare domande in alcuni dei sistemi regionali di brevetto. Inoltrando una domanda internazionale ai sensi del PCT, si può, allo stesso tempo, ottenere un'opinione preliminare non vincolante sulla brevettabilità valida in 152 Paesi.

Il brevetto europeo è un brevetto per invenzione industriale o modello di utilità che si ottiene a seguito di una procedura unificata di deposito, esame e concessione.

La procedura di concessione prevede un'unica domanda, redatta in una lingua a scelta tra inglese, francese o tedesco e permette di ottenere un brevetto negli [Stati membri](#) dell'Organizzazione Europea dei Brevetti designati dal richiedente (è inoltre possibile chiedere la protezione

conferita dal brevetto europeo anche in altri Stati non membri che ne autorizzino l'estensione sul loro territorio).

I brevetti europei conferiscono al titolare, negli Stati membri designati, una volta espletata la procedura di convalida nazionale, i medesimi diritti che deriverebbero da un brevetto nazionale ottenuto negli stessi Stati.

La domanda di brevetto europeo può essere depositata presso l'Ufficio Europeo dei Brevetti, nelle sedi di Monaco di Baviera, L'Aia o Berlino, oppure presso gli Uffici Brevetti nazionali degli Stati contraenti. La domanda di brevetto europeo che origina dall'Italia deve essere depositata presso la Camera di Commercio di Roma, via Capitan Bavastro, 116 - 00154 Roma, che a sua volta la invierà all'UIBM. Per poter procedere, l'UIBM chiede il nulla osta all'autorità militare, che ha tempo 90 giorni per esprimersi. Trascorso tale periodo è ottenuto il nulla osta, anche tramite silenzio/assenso, la domanda viene spedita all'EPO. Nel caso che la domanda non rappresenti un primo deposito (nel caso quindi che venga rivendicata una priorità di una domanda nazionale), la domanda di brevetto può essere inviata direttamente all'EPO.

La procedura per ottenere un brevetto europeo comprende due fasi: quella di deposito della domanda (che comprende l'esame delle condizioni formali, la ricerca delle anteriorità e si conclude con la pubblicazione della domanda e del rapporto di ricerca), e quella dell'esame di merito della domanda, che si conclude con l'eventuale concessione del brevetto.

Se il brevetto viene concesso, il richiedente può iniziare le procedure di convalida in tutti gli Stati da lui designati o solo in alcuni di essi. Se la lingua del brevetto non è una lingua ufficiale dello Stato designato, si dovrà provvedere al deposito della relativa traduzione, dichiarata conforme all'originale pena la non validità del brevetto in quello Stato, entro tre mesi dalla concessione. La traduzione va depositata presso una Camera di Commercio. La validità del brevetto europeo è di 20 anni a partire dalla data di deposito della domanda europea. Il titolare, se risiede all'estero e non è rappresentato da un mandatario italiano, deve eleggere un domicilio in Italia.

Si ricorda che entro nove mesi dalla data della concessione, qualsiasi terzo può depositare un'opposizione contro un brevetto europeo, che viene valutata da un'apposita Divisione dell'Ufficio Europeo dei Brevetti; la cui decisione ha effetto in tutti gli Stati designati.

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

Per avere informazioni sempre aggiornate sulle modalità di presentazione delle domande, sul pagamento delle tasse e sulle procedure d'esame (formale e di merito) della domanda, come pure sulle procedure per depositare un'opposizione contro un brevetto europeo, sul sito (EPO) <https://www.epo.org/applying/european.html>.

Il **brevetto europeo con effetto unitario** (“brevetto unitario”) sarà rilasciato dall'Ufficio Europeo dei brevetti (EPO) e consentirà, attraverso il pagamento di una unica tassa di rinnovo direttamente all'EPO, di **ottenere contemporaneamente la protezione brevettuale nei 26 paesi UE aderenti all'iniziativa**: Italia, Francia, Germania, Regno Unito, Paesi Bassi, Belgio, Lussemburgo, Polonia, Malta, Cipro, Grecia, Svezia, Danimarca, Finlandia, Estonia, Lettonia, Lituania, Repubblica ceca, Repubblica slovacca, Slovenia, Portogallo, Austria, Romania, Bulgaria, Ungheria, Irlanda.

Il brevetto unitario non si sostituisce ma semplicemente si affianca alla tutela brevettuale oggi esistente a livello nazionale (in Italia presso l'UIBM) e a livello europeo (presso l'EPO). Esso sarà operativo dopo l'entrata in vigore dell'Accordo internazionale sul Tribunale Unificato dei Brevetti (TUB) e l'inizio della sua applicazione provvisoria.

Ciò si stima non potrà avvenire, nel migliore dei casi, prima della prima metà del 2019 tenuto conto che la ratifica dell'Accordo TUB e del suo Protocollo per l'Applicazione Provvisoria sta registrando dei ritardi in alcuni paesi UE aderenti.

Al momento è incerta la situazione in Germania, dove l'iter parlamentare di ratifica si è completato da tempo, ma la firma della legge di ratifica da parte del Presidente della Repubblica tedesca è stata bloccata dalla Corte Costituzionale federale a seguito di un'eccezione di costituzionalità sollevata da un privato cittadino nei riguardi dell'Accordo TUB. Un comunicato pubblicato sul sito ufficiale del TUB (www.unified-patent-court.org) il 21 settembre 2017 precisa che allo stato attuale non è possibile fare previsioni sui tempi della decisione della Corte Federale, e quindi, risulta difficile definire un calendario per l'avvio del sistema del brevetto unitario.

Il PCT (Patent Cooperation Treaty) o Trattato di Cooperazione in materia di Brevetti è un trattato multilaterale gestito dal WIPO (World Intellectual Property Organization) che ha sede a Ginevra. La procedura ai sensi del PCT facilita l'ottenimento di una protezione per le proprie invenzioni negli Stati membri: presentando una domanda di brevetto internazionale, i richiedenti possono contemporaneamente

richiedere protezione in un numero molto elevato di paesi. La lista dei 152 paesi aderenti al PCT è al link:

http://www.wipo.int/pct/en/pct_contracting_states.html.

L'esame formale, la ricerca internazionale e, facoltativamente, l'esame internazionale preliminare sono effettuati una volta sola per tutti i Paesi (fase internazionale). Il PCT non elimina, però, la necessità di continuare singolarmente la procedura per il rilascio negli Stati e/o nelle Organizzazioni regionali designate (fase nazionale). Il rilascio del brevetto resta di esclusiva competenza dell'Ufficio nazionale (o regionale) designato.

La fine della fase internazionale decreta l'ingresso nelle fasi nazionali: di norma differito sino al 30° mese dalla data di primo deposito o di priorità; questo differimento è un apprezzabile vantaggio per valutare, con maggiori elementi di giudizio, la convenienza a continuare la procedura nei paesi di interesse. L'elenco per paese dei limiti di tempo per l'ingresso nelle fasi nazionali/regionali si trova su http://www.wipo.int/pct/en/texts/time_limits.html#note11.

Per maggiori informazioni si consiglia la lettura della **PCT Applicant's Guide** predisposta da WIPO per i richiedenti di tutto il mondo, reperibile al link: <http://www.wipo.int/pct/en/>.

L'Ufficio Italiano Brevetti e Marchi opera come Ufficio ricevente italiano per la ricezione delle domande internazionali di brevetto (PCT) in cui almeno uno dei richiedenti del deposito abbia nazionalità italiana o sia residente in Italia.

Dal **4 Dicembre 2017** è possibile utilizzare il sistema **ePCT** per depositare le domande internazionali di brevetto conservando i vantaggi derivanti dalla scelta dell'UIBM come Receiving Office.

Questa appendice ha messo in luce un aspetto, molto spesso tralasciato o poco considerato in ambito ingegneristico, perché più affine alla parte gestionale del settore, ovvero le procedure necessarie per la prototipizzazione e la brevettazione dell'idea progettuale. Nello stesso capitolo è stato, altresì, trattato con oculatezza l'aspetto normativo, perché la tematica trattata è abbastanza complessa e giuridicamente articolata. Come si evince le procedure da attuare seguono una prassi rigorosa per tutelare sia il prodotto, sia i ricercatori. Tirando le somme del lavoro di tesi è emerso come i prototipi siano entrambi spendibili sul mercato sia come unico prodotto di vendita, sia come prodotti da vendere separatamente. La proprietà intellettuale del software, invece, trova sempre la sua protezione dal diritto d'autore. I diritti esclusivi

Conclusioni

Nuova Vita ai Fanghi: “Studio e Progettazione di Tecniche innovative per il recupero energetico ed ambientale di un impianto di Depurazione”

dell'autore nascono automaticamente, senza bisogno di alcuna formalità. Tuttavia, è possibile registrare il programma nel [Pubblico Registro Software](#) presso la SIAE, al fine di ottenere una prova certa della paternità. È di vitale importanza invece disciplinare il diritto d'autore in ogni contratto riguardante il software: contratti di [licenza software](#); contratti di [sviluppo software](#) etc. Infine, per i software che realizzano un effetto tecnico ulteriore, è da considerare la possibilità di ottenere un brevetto. Infatti, questa forma di protezione è molto intensa e garantisce il monopolio per 20 anni sull'invenzione. Distinguere fra software brevettabili e non brevettabili è spesso complicato e richiede una valutazione caso per caso da parte di un esperto.