

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELL'AQUILA

Corso: Impianti biochimici industriali e ambientali – Terza Lezione: Reattori a fanghi attivi *Total Mixed Liquor e Plug Flow*

1) Premessa

Nella presente lezione verranno esposte alcune esperienze professionali che metteranno in evidenza il differente comportamento di reattori biologici a fanghi attivi a seconda che lo schema impiantistico sia più simile ad un *Total Mixed Liquor* o ad un *Plug flow*. Si ricordano brevemente le differenze fra i due schemi :

Un reattore biologico *Total Mixed Liquor* (TML) è costituito da una vasca, perfettamente miscelata, nella quale le caratteristiche chimiche e fisiche della miscela aerata (MLSS) sono perfettamente identiche sia in prossimità del punto d'ingresso che di quello d'uscita. Di solito , negli impianti si trovano più vasche in parallelo, ciascuna delle quali, tuttavia, può essere schematizzata come un TML , purché si verifichino le seguenti condizioni :

- Pianta circolare o rettangolare non troppo allungata;
- Assenza di setti che costringono il liquido a percorrere la vasca secondo un percorso stabilito.

Si tratta dello schema più frequentemente adottato sugli impianti, sia perché la perfetta omogeneizzazione della massa liquida conferisce al sistema una presunta maggiore stabilità del processo biochimico, sia perché il suo funzionamento è più fedelmente rappresentato dai modelli matematici correnti. A volte , si adoperano le formule valide per i sistemi TML, senza rendersi conto che, però, la geometria della vasca rende lo schema più simile ad un Plug Flow (PF) che ad un TML.

Un reattore biologico Plug Flow è costituito , idealmente, da una vasca di forma molto allungata, nelle quale le condizioni chimiche e biochimiche del MLSS, sono progressivamente diverse man mano che si passa dalla sezione d'ingresso a quella d'uscita. Infatti, suddividendo , idealmente, un reattore PF in una serie di vasche ideali disposte in cascata, ciascuna di queste vasche può essere schematizzata come un TML ed è chiaro che le reazioni che avvengono nella prima vasca mutano le condizioni biochimiche del MLSS; sicché la seconda vasca si trova ad operare in condizioni diverse dalla prima, e così via fino all'ultima vasca. Lo schema impiantistico si avvicina a quello di un PF, quando il reattore biologico è costituito da più vasche disposte in serie o da vasche di forma rettangolare molto allungata.

Per fare un esempio pratico di come la forma della vasca influenzi il processo, si consideri che quasi sempre, la densità di piattelli porosi disposti sul fondo della vasca è la stessa per l'intero fondo, anche quando la vasca è di forma rettangolare piuttosto allungata. In questi casi , si può vedere come basta anche un rapporto non eccessivo fra larghezza e lunghezza della vasca (tipo : 1 a 2) perché la concentrazione di ossigeno disciolto sia molto diversa fra ingresso ed uscita, non ostante la forte turbolenza in vasca dovuta all'insufflazione d'aria. Ovviamente, a consumi diversi di ossigeno, corrispondono situazioni del MLSS molto diverse.

2) La ristrutturazione dell'impianto di depurazione " Le Querce" a servizio del Comune di Massa.

L'impianto di depurazione in argomento, di costruzione piuttosto datata, era costituito dalle seguenti unità :

Primo lotto :

1. Sedimentazione primaria, unica vasca a pianta rettangolare, dimensioni in pianta: $14 \times 27 = 378$ mq, altezza 3.7 mt, volume utile : 1.400 mc;
2. Denitrificazione, unico comparto, da 194 mc;
3. Ossidazione e nitrificazione, unico comparto di forma rettangolare ($9 \times 21 = 189$ mq) altezza 3.6 mt, volume utile: 680 mc;
4. Sedimentazione secondaria: due unità a pianta rettangolare, ciascuna avente le seguenti dimensioni : pianta : $8 \times 27 = 216$ mq, altezza idrica : 3.35, volume : 723 mc. Superficie complessiva : 432 mq, volume complessivo 1447 mc.

Secondo lotto :

5. Sedimentazione primaria, unica vasca a pianta rettangolare, dimensioni in pianta: $14 \times 36 = 504$ mq, altezza 3.9 mt, volume utile : 1.965 mc;
6. Denitrificazione, due comparti, ciascuno da 324 mc, per complessivi 648 mc;
7. Ossidazione e nitrificazione, due comparti di forma accentuatamente rettangolare ($9 \times 26 = 234$ mq) altezza 3.6 mt, volume utile complessivo: 1.684 mc;
8. Sedimentazione secondaria: due unità a pianta rettangolare, ciascuna avente le seguenti dimensioni : pianta : $8 \times 36 = 288$ mq, altezza idrica : 3.30; Superficie complessiva : 576 mq, volume complessivo 1.900 mc.

In ciascuno dei tre comparti di ossidazione (uno per il primo lotto e due per il secondo lotto) veniva fornito ossigeno puro, mediante N° 4 eiettori alimentati da una pompa centrifuga ad asse orizzontale da 55kw, che miscelava sotto pressione ossigeno e la sospensione acquosa del fango attivo in ossidazione. La potenzialità complessiva del secondo lotto era circa 2.5 volte quella del primo lotto: Volume complessivo reattore biologico primo lotto : 874 mc; volume complessivo secondo lotto : 2.332 mc.

(proiezione schemi allegati) .

Secondo le previsioni programmatiche, l'impianto in questione andava dismesso e sostituito da altro impianto, di moderna concezione, del quale era previsto l'ampliamento. Nelle more , occorreva far funzionare al meglio l'impianto esistente. Una delle problematiche presenti sia sul primo lotto che sul secondo, era costituita dalla rottura, non più rimediabile, del carroponte della sedimentazione primaria. Non essendo by-passabile tale unità di trattamento, la vasca di sedimentazione primaria del primo lotto, si era trasformata in un pantano maleodorante , coperta da uno spesso crostone, sul quale aveva attecchito una rigogliosa vegetazione spontanea.

Fu così deciso il seguente intervento sul primo lotto:

- 1) Costruzione di un by pass temporaneo , per alimentare le acque in ingresso direttamente alla denitrificazione;
- 2) Svuotamento e pulizia del sedimentatore primario, con chiusura delle tramogge di fondo per la raccolta fanghi;
- 3) Installazione di N 6 aeratori sommersi, tipo flow jet nell'ex vasca di sedimentazione primaria;
- 4) Installazione di N°2 flow jet nella preesistente vasca di ossidazione , eliminando l'ossigeno puro;
- 5) Riadattamento della condotta di by-pass di cui al punto 1, per il ricircolo fanghi in testa alla nuova vasca di ossidazione (ex vasca di sedimentazione primaria) .

Con tale intervento ci si prefiggevano due scopi :

- a) Da un lato, eliminare i cattivi odori provenienti dalla sedimentazione primaria;
- b) Dall'altro, sostituire il sistema di ossidazione ad ossigeno puro con una più usuale ed economica ossidazione mediante aeratori sommersi.

Per quanto riguarda quest'ultimo punto si consideri che il costo orientativo dell'ossigeno puro è di circa 0.15 €/kg, cui occorre aggiungere i costi non indifferenti per consumo di energia della pompa che alimenta gli eiettori (nel caso : N°1 pompa da 55 kw in funzione 24h/24h) . Anche adoperando dei flow jet (il sistema più energivoro fra quelli esistenti per fornire ossigeno in reattore biologico) la resa in ossigeno prevista era di circa 0.8 Kg per kwh consumato in condizioni operative e , quindi, il costo relativo di circa 0.12 € per kg di ossigeno reso. Al risparmio così ottenuto andava aggiunto ancora quello per il fermo della pompa che alimentava gli eiettori. Negli interventi di ristrutturazione spesso la scelta cade sui flow jet, o apparecchiature simili, non ostante lo scarso rendimento energetico, per la grande versatilità di queste macchine, facilmente trasportabili da un impianto all'altro quando l'emergenza si è esaurita.

Gli interventi sono stati effettuati come previsto e l'impianto a ripreso a funzionare nella nuova configurazione.

Il reattore biologico risultante dalla ristrutturazione era alquanto atipico , in quanto era costituito da tre vasche in serie :

- a) Una prima vasca (la ex sedimentazione primaria) da 1.400 mc;
- b) Una seconda vasca , costituita dalla ex denitro, da 194 mc;
- c) Una terza ed ultima vasca, costituita dall'originaria vasca di ossidazione : 680 mc.

Al riguardo, occorre considerare che la formazione della flora batterica è molto influenzata dalle condizioni che si trovano all'ingresso del reattore biologico. Infatti, nella sezione d'ingresso, nei primi 20-30 minuti , prenderanno il sopravvento quelle specie batteriche che troveranno le condizioni più favorevoli, che poi continueranno a rappresentare le specie batteriche dominanti anche negli altri settori della vasca.

Nel caso, date le dimensioni della prima vasca, in pratica, ci trovava nelle condizioni di un perfetto *Total Mixed Liquor* .

L'impianto nella nuova configurazione è stato messo in esercizio regolarmente e, dal punto di vista strettamente biochimico (nitrificazione, denitrificazione, abbattimento BOD5 e COD) tutto si svolgeva come previsto. Tuttavia, i fanghi attivi si sono subito dimostrati di pessima qualità:

L'indice del fango superava i 200cc/gr; il sedimentatore secondario si presentava coperto da una spessa coltre di fango galleggiante e le acque sfiorate presentavano una concentrazione in SST intorno ai 100 ppm.

Di per sé, l'indice del fango non era elevatissimo, quello che appariva abnorme, invece, era la spessa coltre di fango sulla sedimentazione secondaria. Il carico superficiale del sedimentatore secondario non era affatto elevato (circa 0.6 mc/h per mq sulla portata media) e anche la concentrazione del MLSS e, quindi, il flusso solido, erano assolutamente nelle norme: da 2.5 a 3.5 kg/mc. Ma le performance della sedimentazione secondaria erano pessime.

A questo punto, potremmo aprire una parentesi sul perché le performance di un sedimentatore rettangolare, a parità di ogni altra condizione usualmente presa in considerazione (carico superficiale, flusso solido, velocità sullo sfioro e SVI del fango) siano sempre molto peggiori di quelle di un sedimentatore circolare; ma rinviando queste considerazioni ad una prossima lezione che avrà per tema esclusivo la sedimentazione secondaria.

Per altro, si osservava che il sedimentatore secondario della linea 2 dello stesso impianto, quella ancora funzionante ad ossigeno puro, funzionava molto bene: Spesso la nitrificazione era insufficiente, soprattutto per carenza d'ossigeno, ma l'efficienza della sedimentazione secondaria era del tutto nella norma. Per tale motivo, non di rado, la miscela dei due reflui (linea 1 e linea 2) rientrava nei limiti di legge, infatti:

- a) La linea 1, presentava caratteristiche chimiche nei limiti di legge, ma eccesso di solidi sospesi;
- b) La linea 2, presentava spesso eccesso di ammoniaca, ma solidi sospesi contenuti abbastanza largamente nella norma.

Siccome la portata gravante sul lotto 2 era circa il doppio di quella gravante sulla linea 1, la miscela dei due reflui era spesso nella norma.

Per normalizzare la situazione del lotto 1 si sono tentati gli espedienti riportati in letteratura che, indubbiamente, hanno dato qualche miglioramento, ma nulla di risolutivo. Si è proceduto con la clorazione del fango di ricircolo e con la rimozione meccanica della coltre di fango galleggiante (operazione piuttosto problematica dato lo spessore e la consistenza di tale coltre) ma nulla che abbia dato risultati apprezzabili per quanto riguardava la concentrazione degli SST nell'effluente finale. Anche altri espedienti che, in altri casi hanno dato qualche risultato (fasi prolungate di anossia o di sotto alimentazione del biologico, con il carico deviato per quanto possibile sulla linea 2) non hanno dato risultati.

A questo punto, appariva evidente che l'unica rimedio possibile doveva riguardare direttamente la biochimica del processo. Avendo già maturato la convinzione che lo schema Total Mixed Liquor fosse quello che più favoriva la formazione di fango con cattive caratteristiche di sedimentabilità, si è provato a cambiare completamente la circolazione di fango e liquami nel reattore disponibile.

La condotta già utilizzata durante il corso dei lavori per alimentare il liquame in ingresso direttamente alle vecchie unità del reattore biologico ha ripreso tale funzione, by-passando completamente la prima vasca, quella originariamente destinata alla sedimentazione primaria e poi trasformata in vasca a fanghi attivi. In prossimità dell'uscita dal vecchio reattore biologico, immediatamente prima dello sfioro sulla canaletta che alimentava la sedimentazione secondaria, è stata installata una pompa di grossa portata e bassa prevalenza, in modo da ricircolare la miscela aerata in uscita dal reattore biologico in testa alla prima vasca.

L'impianto ha, quindi, assunto la configurazione di cui allo schema allegato. Secondo tale nuova configurazione la vecchia linea denitro più nitro risultava così alimentata:

- Dai fanghi di ricircolo;
- Dal liquame entrante;
- Da una forte portata di MLSS, nella quale le sostanze azotate erano perfettamente nitrificate, che andava a ridurre le concentrazioni specifiche di carbonio e azoto ridotto in ingresso al vecchio reattore biologico, e aumentava quelle dell'azoto nitrico.

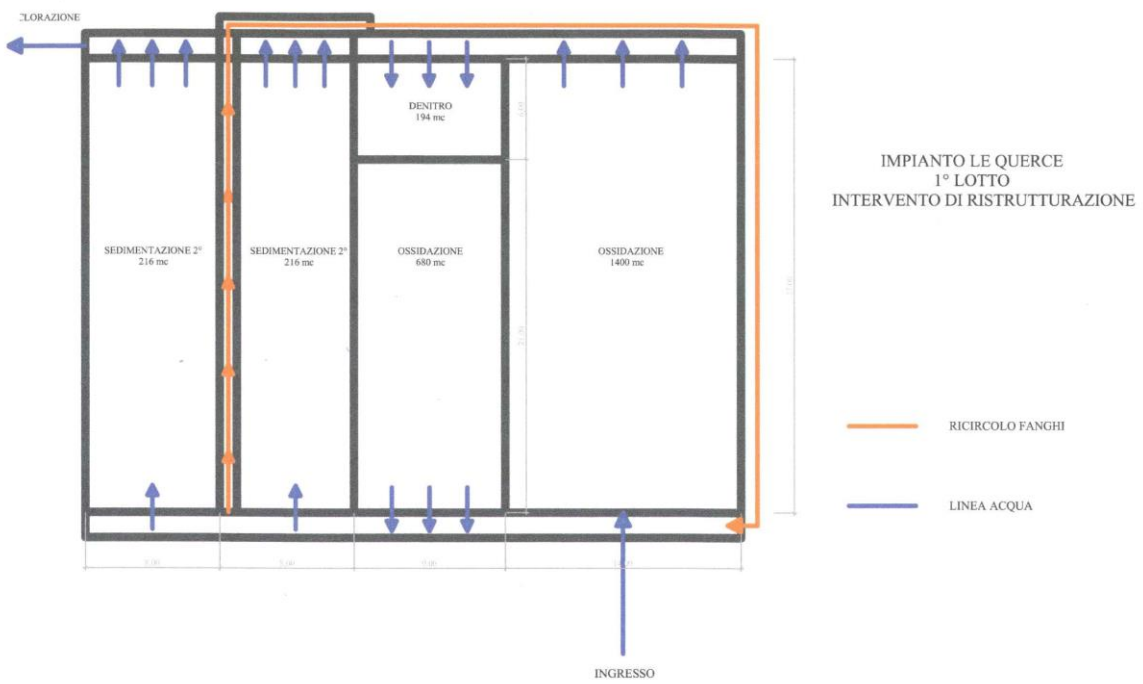
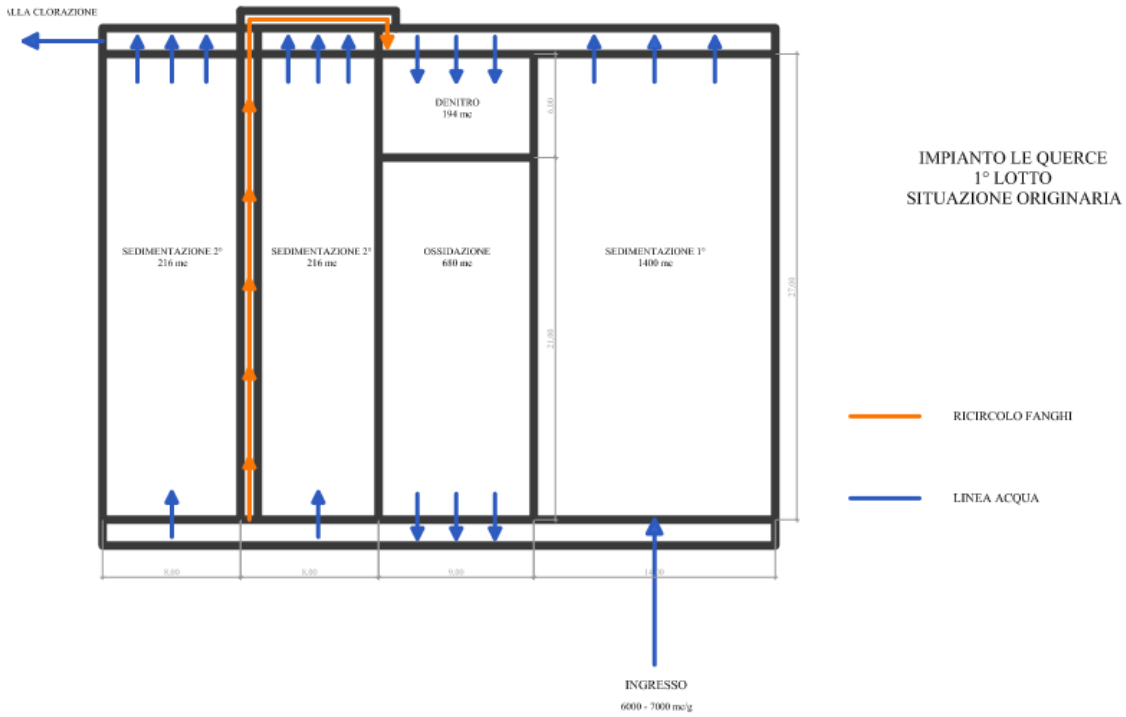
I risultati per quanto riguardava la sedimentabilità del fango attivo sono stati immediati: la coltre di fango sulla sedimentazione secondaria, praticamente, è sparita, e la concentrazione di solidi nell'effluente depurato, per quanto non sempre nei limiti di legge, era comunque, molto più bassa di quella registrata in precedenza, per cui, la successiva miscelazione con l'effluente dell'altro lotto, era sempre nei limiti.

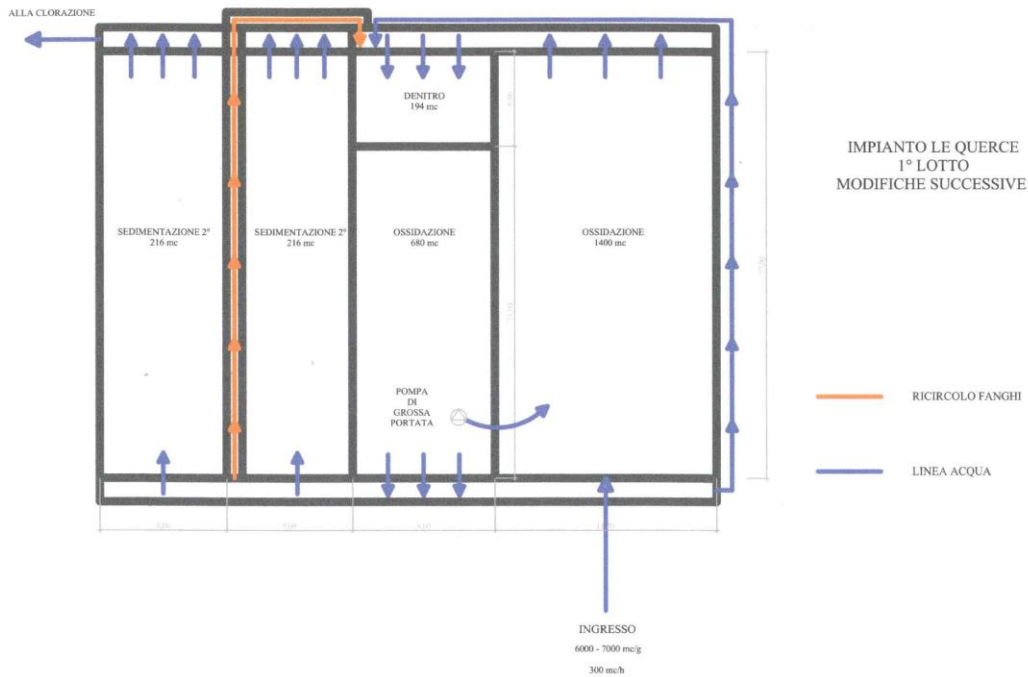
Un effetto indesiderato che si temeva adottando tale nuova configurazione, era quello dell'innalzamento della concentrazione dell'ammonica in uscita; ma i risultati hanno dimostrato che si trattava di un timore ingiustificato.

A questo punto sorgeva spontanea una domanda: Perché il decantatore della linea 2 non dava tutti questi problemi? Ci sono due motivazioni principali:

- La configurazione del reattore della linea 2 era quella di una vasca di ossidazione/nitrificazione di forma accentuatamente rettangolare (circa 1 a 3) preceduta da una denitro; ossia una configurazione nella quale esiste una zona di testa del reattore ad alto carico F/M, tipica di un plug flow;
- L'ossidazione mediante ossigeno puro, riduce fortemente la presenza di gas in forma di micro bolle nella massa liquida. Tale gas, soprattutto in assenza di un'apposita fase di degassazione tra ossidazione e sedimentazione secondaria (sempre consigliabile) favorisce la flottazione della frazione di fango più leggera, esaltando il fenomeno della formazione della coltre di fango sulla superficie della sedimentazione secondaria.

L'argomento sarà ripreso nell'apposita lezione sulla sedimentazione secondaria





3) Un esempio di plug flow involontario : L’impianto a servizio della città de Il Cairo

Il primo lotto dell’impianto di depurazione di Gabal El Asfar . a servizio della città de Il Cairo (Egitto) è stato finanziato dalla Direzione Generale della Cooperazione allo Sviluppo (Ministero degli Affari Esteri) . Tale impianto ha una potenzialità di 5.000.000 di abitanti equivalenti e tratta circa 1.000.000 di mc al giorno.

La configurazione dell’impianto è brevemente riassunta nella tabella che segue :

Fasi di trattamento	Volume o superficie unitaria	N°	Volume o superficie complessiva
Sedimentazione primaria	4.700 mc	24	112.800 mc
Ossidazione	1.300 mc	160	208.000 mc
Sedimentazione secondaria	2.200 mq	24	52.800 mq
Pre - ispessimento	3.300 mc	16	52.800 mc
Digestione	11.000 mc	20	220.000mc
Post - Ispessimento	7.000 mc	10	70.000 mc

Le 160 vasche di ossidazione, ognuna a 1300 mc, erano disposte in quattro “blocchi”, ognuno formato da 40 vasche , disposte su N°5 file costituite da otto vasche ciascuna. Il liquame sedimentato veniva distribuito sulle cinque file e poi attraversava le otto vasche di ossidazione disposte in serie, ciascuna dotata di una turbina di aerazione superficiale da 50 kw.

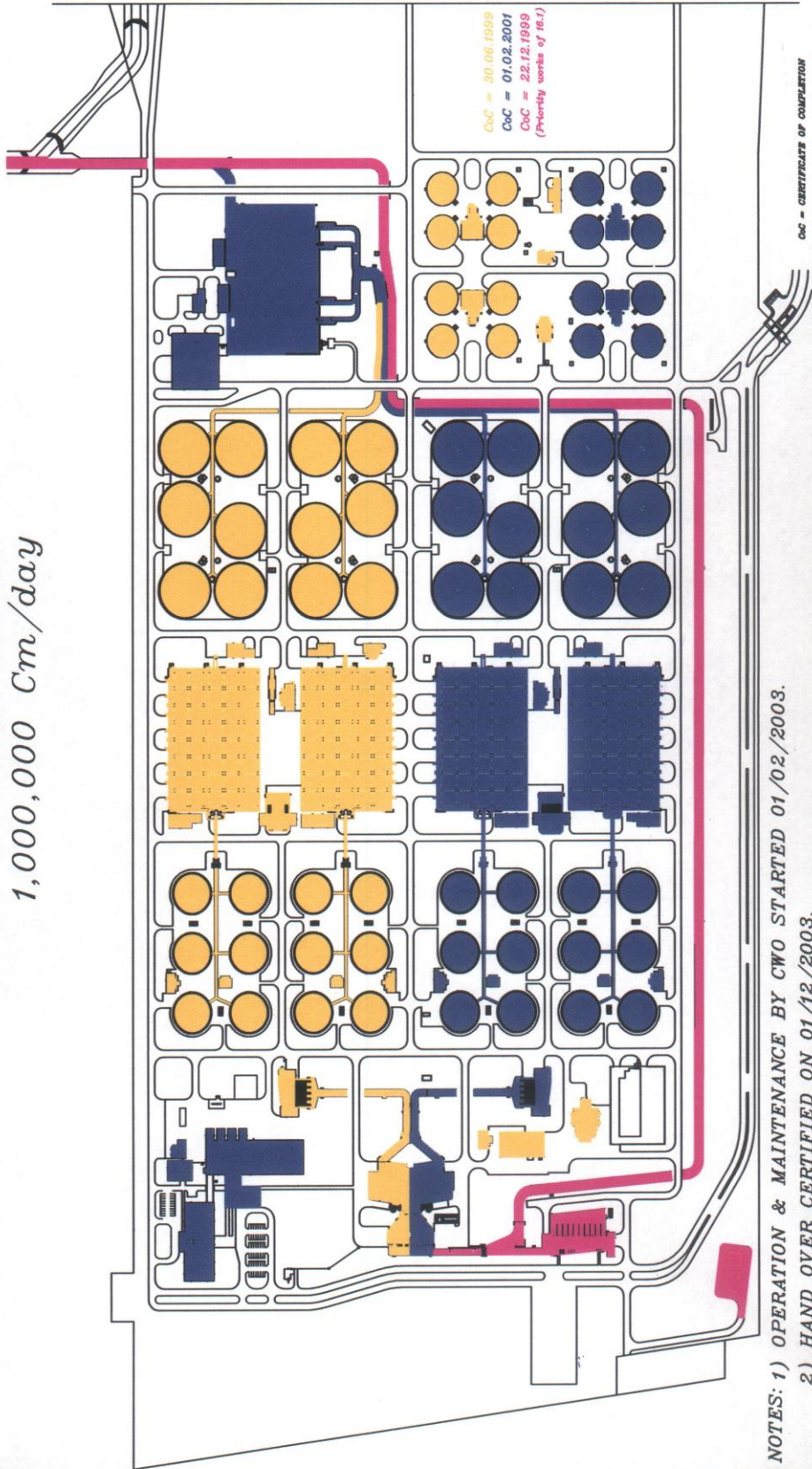
Era chiaro, quindi, che il reattore biologico era un tipico plug flow , sebbene del tutto “involontario”, altrimenti, la quantità di ossigeno fornito avrebbe dovuta essere molto maggiore nelle vasche di testa rispetto a quelle di uscita e , infatti, la concentrazione di ossigeno disciolto era molto inferiore nelle vasche di testa che in quelle finali.

Tuttavia, la configurazione tipo plug flow, produceva fanghi di ottima sedimentabilità senza alcuna formazione di coltre di fango sulla superficie del sedimentatore secondario.

Il carico superficiale applicato alle sedimentazioni secondarie era di circa 0.8 mc/h per mq alla portata media , senza alcun inconveniente per la qualità delle acque in uscita, anche grazie alla bassa concentrazione del MLSS nelle vasche di ossidazione : circa 1.5 kg/mc.

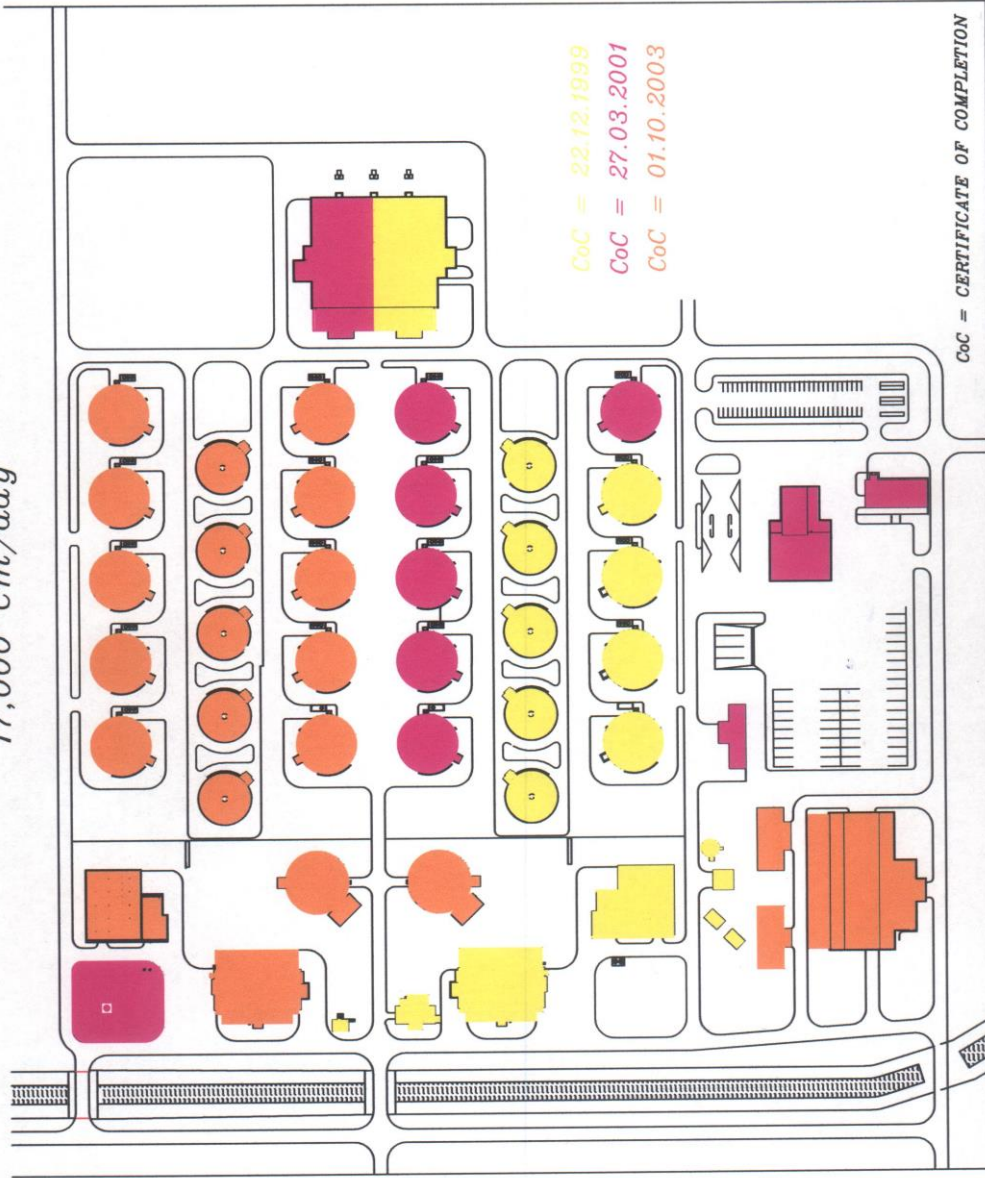
GABAL EL ASFAR WASTEWATER TREATMENT PLANT CONTRACT 16-2

1,000,000 Cm/day



GABAL EL ASFAR SLUDGE TREATMENT FACILITIES CONTRACT 16-1

17,000 Cm/day



CoC = 22.12.1999
CoC = 27.03.2001
CoC = 01.10.2003

CoC = CERTIFICATE OF COMPLETION

4) Un esempio di plug flow *volontario* : L'impianto a servizio della città de La Maddalena

L'impianto di depurazione a servizio del Comune di La Maddalena era dotato di N° 3 vasche di ossidazione , ciascuna da 500 mc disposte in parallelo. L'impianto andava implementato fino ad una potenzialità di 36.000 A.E. , carico che veniva raggiunto solo nella stagione di punta estiva. E' stata, quindi, realizzata una unità di denitrificazione da 1.000 mc, del tutto assente nelle configurazione originaria, ed è stato cambiato lo schema di funzionamento, disponendo le tre vasche di ossidazione in serie anziché in parallelo.

La motivazione principale di tale variazione di schema distributivo era dovuta alla circostanza che, data la limitatezza delle volumetrie disponibili al massimo carico estivo (circa 70 lt per utente servito, anche se la fase biologica era preceduta dalla sedimentazione primaria) si voleva adottare la tecnologia MBBR (Mobile Bed Biological Reactor) a garanzia dell'efficienza della nitrificazione. L'aggiunta dei supporti mobili, tuttavia, andava prevista solo nella sezione finale del reattore e questo obbligava a disporre le vasche in serie anziché in parallelo.

Avviato l'impianto, si è avuta ancora una volta la dimostrazione di come lo schema plug flow garantisca la formazione di fanghi di ottima sedimentabilità, eliminando quasi del tutto la formazione di crostine galleggianti sulla sedimentazione secondaria, anche in assenza di un apposita vasca di degassazione. Il carico superficiale sulla sedimentazione secondaria, in occasione di un' avaria di uno dei tre sedimentatori secondari disponibili, ha raggiunto 0.82 mc/h per mq alla portata media, senza alcuna perdita di efficienza della fase di sedimentazione e con concentrazioni di fango in ossidazione dell'ordine di 3-4 kg/mc.

Problemi, invece, si sono posti per la corretta distribuzione dell'ossigeno disciolto nelle tre vasche. E' chiaro che il consumo di ossigeno è molto maggiore nella prima vasca che nelle successive e, per questo motivo, era stata disposta una densità di piattelli porosi molto maggiore nella prima vasca che nelle due successive. Ma tale accorgimento, da solo, non è stato sufficiente a garantire una corretta distribuzione dell'ossigeno disciolto nelle tre vasche. E' stato quindi necessario rimettere in funzione le vecchie canalette di distribuzione della miscela aerata di cui erano dotate le tre vasche per alimentare parte del MLSS in uscita dalla denitrificazione direttamente alla seconda vasca, correggendo quindi lo schema plug flow lo stretto indispensabile per riequilibrare la concentrazione dell'ossigeno nelle tre vasche.

Si consiglia, pertanto, qualora si voglia adottare uno schema plug flow di porre molta attenzione alla diversa richiesta di ossigeno tra la sezione di testa e quella di valle del reattore e di prevedere, comunque, la possibilità di alimentare la miscela aerata non solo in testa ma anche a diverse altezze del reattore stesso.