

3. REALIZZAZIONE DI STRUTTURE SPERIMENTALI

3.1 Descrizione Area Sperimentale e Didattica: 'Informare, Comunicare, Formare'

L'Area Sperimentale e Didattica è uno spazio, ricavato all'interno della Cascina San Giacomo, sede dell'Associazione Nocetum, dove CISE2007 e Greem hanno piantumato alberi da frutto realizzato un orto, un sistema di compostaggio per il recupero degli scarti vegetali, e una serra-laboratorio in cui compiere piccole sperimentazioni a carattere didattico e divulgativo. Nell'Area trova spazio anche una centralina meteo, che rileva i più importanti parametri atmosferici e spedisce i dati rilevati a una consolle posizionata all'interno della serra-laboratorio. I dati, successivamente messi in rete, sono consultabili in tempo reale attraverso il sito internet www.cise2007.eu. L'Area è stata ed è meta di visite, nonché luogo di incontri con le scuole di vario grado e seminari su tematiche principalmente legate all'educazione ambientale, all'orticoltura e alla sana alimentazione.



Fig 3.1.a Cartello promozionale AreaSperimentale e Didattica

Come previsto dal progetto INSIEME l'associazione Greem si è adoperato per la risistemazione e la gestione dell'Area e della Serra-Laboratorio collocata al suo interno, per le necessità legate alle attività del progetto. La Serra è stata dotata di un sistema di aerazione con prese d'aria e ventilatore capace di un ricambio d'aria fino a 10 volte il volume della serra stessa. Si è inoltre realizzato un cartello indicatore per l'accesso all'Area largo 2,5 metri e creata una idonea struttura per poterlo fissare a 3 metri di altezza, in una posizione ben visibile al pubblico che percorre la via San Dionigi.

Gli impegni didattici previsti nel primo anno di attività si sono conclusi positivamente e stanno proseguendo anche nel secondo anno, nonostante un ritardo sull'agibilità della serra, dovuto ad una manutenzione straordinaria dell'area (sistemazione dell'aia e delle aiuole esterne e ricostruzione dei vialetti di accesso), terminata solo nella prima quindicina di dicembre.

Si sono infatti accavallati i lavori di miglioria avviati da Nocetum per la ristrutturazione della Chiesetta e la realizzazione della City Farm con quelli già previsti e avviati dal Comune di Milano per la realizzazione della pista ciclopedonabile che raggiungerà l'abitato di Chiaravalle.

La Serra-Laboratorio è stata comunque attrezzata e riordinata per ricevere gli studenti all'avvio delle attività didattiche condotte da CISE2007 e programmate da ASA-Alta Scuola per l'Ambiente. Poiché le immagini illustrano meglio la situazione, ne alleghiamo alcune, in cui si documentano i lavori di ristrutturazione in corso nell'area didattica, all'inizio dell'attività didattica.

In questo periodo, le attività con gli studenti sono state concentrate nel locale al coperto di Nocetum. I corsi con gli studenti sono stati centrati su piccole esperienze dimostrative di celle a combustibile microbiche, osservazioni con il microscopio ottico di microrganismi e altri organismi del prato, ed esperienze con apparecchiature illustranti la conversione dell'energia, come descritto in seguito. (lampadine, rocchetto di Ruhmkorff, componenti di elettronica amatoriale ecc.) come illustrato nelle Fig 3.1.b, 3.1.c sottostanti.

Le esperienze all'esterno hanno riguardato principalmente l'analisi dei dati della centralina meteo alimentata con un pannello fotovoltaico e la conversione di energia del sole tramite il pannello fotovoltaico la batteria di accumulo, l'inverter, fino all'uso della corrente elettrica per alimentare il computer e il ventilatore.



Fig 3.1.b Lavori in corso per l'accesso all'area didattica presso Nocetum

PROGETTO 'INSIEME' - *Esperienze di Tecnologie Energetiche Antiche e Future al Servizio della Sostenibilità*
Una idea progettuale per il Parco della Vettabbia nella Valle dei Monaci
Relazione illustrativa – Versione finale
dicembre 2014





Fig 3.1c Interno ed esterno della serra con strumentazione meteo e vasi di fiori utilizzati per le esperienze con celle microbiche.

3.2 Realizzazione di un pozzo per il prelievo di acqua presso Nocetum

L'allestimento della *City Farm* si basa su soluzioni semplici ed è impostato su un'area di circa 400 mq, interamente recintata, parte con rete che scende sottoterra per circa 30 cm per prevenire problemi di scavo, predazione e sicurezza, parte in staccionata di legno con base interrata.



Fig 3.2 a 'City Farm' Rendering dell'idea progettuale

L'area ha un lato a staccionata lungo cui si snoda il percorso visite dove la recinzione intorno a tutto il perimetro dell'aia è stata realizzata in legno tipo steccato, mentre la recinzione del perimetro esterno è stata realizzata in rete metallica di colore verde con paletti in ferro e fondamenta; in più punti dell'area è stata associata la messa a dimora di specie arboree e arbustive (non ancora completata), per creare un ambiente protetto e raccolto per gli animali, i quali si abitueranno alla frequentazione umana beneficiando del minimo disturbo.



Fig 3.2.b 'City Farm'- area per animali da cortile

L'area si presenta piana, erbosa, ma con ampie parti di suolo composte da componenti grossolane di tipo ghiaioso, lievemente mossi da un corpo idrico (sguazzo) che raccoglie le acque delle fontanelle al fine di creare una piccola area umida e favorire la movimentazione degli animali stessi: gruppi di arbusti, di erbe palustri e alcuni alberi sparsi andranno a creare i giusti luoghi di ombra e di riparo.



Fig 3.2.c 'City Farm' in primo piano bacino d'acqua

All'interno dell'aia è stato realizzato, in collaborazione con Milanodepur, un impianto idrico con pozzetto che prevede la presenza di fontanelle con filo d'acqua corrente continua destinate ad abbeveratoi in modo che le stesse acque confluiscono nel piccolo slargo (sguazzo), alimentando una lieve corrente e ricambio dell'acqua stessa, di estrema importanza per vari volatili (anatre, oche) oltre alla totale disponibilità di acqua per tutta l'area; si possono facilmente effettuare prelievi di campioni d'acqua per analisi comparative e rilievi di parametri qualitativi ambientali di tipo microbiologico e biotico.

È stato anche realizzato un sistema di controllo finale con livello di troppo pieno al fine di non avere pantani oltre alla traccia del corpo idrico che ha una profondità massima centrale di circa 50 cm.

Lo sguazzo è stato reso impermeabile grazie alla posa di un telo impermeabile, sopra il quale sono stati posti sul fondo diversi sassi e ciottoli per facilitare la naturalizzazione dello stesso attraverso la posa di piante acquatiche favorendone l'attecchimento e generando nicchie di riparo per piccoli

pesci e anfibi; si è già potuto notare come la sola presenza di uno specchio d'acqua, benché non ancora completata la necessaria dotazione di piante e vegetazione acquatica, ha permesso in tempi brevissimi la colonizzazione da parte di girini e raganelle, aumentando, seppur semplicemente, la biodiversità dell'area.

Insieme a RSE e all'Università di Milano-Ortobotanico, Nocetum ha valutato con esito positivo la possibilità di poter installare un modellino a scopo didattico-dimostrativo con specie vegetali funzionali all'azione fitodepurativa, adiacente lo specchio d'acqua rinaturalizzato (sguazzo), sito nella *City Farm* all'interno dell'area recintata dell'aia.

3.2.1 Realizzazione di un prototipo didattico-dimostrativo per la fitodepurazione delle acque

A seguito dello studio di fattibilità (vedi paragrafo 2.3) si è realizzato un prototipo didattico-dimostrativo per la fitodepurazione delle acque ubicando vicino allo sguazzo e alimentato dall'acqua dello stesso. Lo sguazzo è, a sua volta, alimentato dal pozzetto inoltre, come già evidenziato, raccoglie le acque dell'aia; esso costituisce un ambiente tipico delle zone umide sia dal punto di vista vegetazionale che faunistico in miniatura, il quale arricchisce la biodiversità dell'areale *City Farm* oltre a essere un buon vettore per l'educazione ambientale, in quanto il visitatore può facilmente rendersi conto della quantità di forme diverse di vita presenti in uno spazio molto ristretto.

Il prototipo si è cercato di posizionarlo tenendo conto di minimizzare al massimo l'impatto visivo del suo ingombro fisico sullo specchio d'acqua rinaturalizzato, inoltre si è scelto di utilizzare per la costruzione del modello il legno, materiale naturale di costruzione e di arredo già presente nell'area, in modo da omogeneizzare il più possibile colori ed elementi presenti nel contesto in cui è stato inserito.

L'acqua, all'interno del modellino di fitodepurazione, percorre un ciclo chiuso in quanto viene pescata dallo sguazzo, fitodepurata e scaricata nuovamente nello stesso.

A completare il prototipo vi è l'installazione di un pannello informativo sull'attività di fitodepurazione delle acque.



Fig 3.2.e Modellino di fitodepurazione

L'aver dotato la *City Farm* di Nocetum e l'Area Sperimentale Didattica “Informare Comunicare Formare” di questo prototipo didattico-dimostrativo vuol dire aver arricchito in maniera significativa l'attività educativa nel campo ambientale e della sostenibilità rivolta all'utenza scolastica ma non solo.

Per l'educazione alla sostenibilità ambientale il modello rappresenta uno strumento fondamentale in quanto fa vedere come la fitodepurazione risulta dall'azione combinata di piante acquatiche e substrato sabbioso, ovvero dalla sinergia di due elementi da cui derivano i processi di filtrazione, sedimentazione, adsorbimento, assimilazione (da parte della vegetazione) indispensabili alla rimozione degli inquinanti.

La tecnica di fitodepurazione, infatti, consente di rimuovere diverse tipologie di inquinanti quali sostanza organica, solidi sospesi, azoto, fosforo, metalli pesanti in tracce, batteri patogeni.

Possiamo ora affermare che con l'installazione del prototipo didattico-dimostrativo a Nocetum si è venuto a creare un sistema di percorrenze e nodi ricettivi all'interno del territorio del Parco della

Vettabbia dove prevalgono le funzioni didattico-scientifico-naturalistiche.



3.3 Prototipo dimostrativo di 'scia luminosa'

Durante i primi tre mesi di attività connessi al Progetto "Insieme"- Esperienze di Tecnologie Energetiche Antiche e Future al Servizio della Sostenibilità, il gruppo di lavoro dell'Università degli Studi di Pavia ha posto le basi alla progettazione di una "scia bio-luminosa". In particolare è stato progettato e realizzato un sistema a luci LED intermittenti a basso consumo di potenza, prodotto con intento dimostrativo nell'ambito delle iniziative didattiche svolte presso l'associazione Nocetum durante il periodo natalizio. Nella stessa occasione è stata presentata una versione del prototipo in grado di effettuare rilevamenti di temperatura e di trasmettere i dati wireless ad un ricevitore con display. Il circuito alla base del lavoro è stato realizzato in modo da funzionare senza batterie o fonti di alimentazione tradizionali, ma con la sola energia fornita da 10 celle microbiche (MFC). Tale lavoro rappresenta un modello su scala ridotta del sistema "scia bio-luminosa" e ne rappresenta sia un primo studio di fattibilità sia una piattaforma di simulazione su cui studiare eventuali modifiche ed aggiornamenti. Un ulteriore circuito in grado di funzionare utilizzando una singola MFC è stato realizzato e presentato ad una conferenza internazionale, denotando l'elevato interesse scientifico correlato all'ambito delle MFC e dell'elettronica ultra-low-power.

Le MFCs sono particolari celle a combustibile in grado di convertire direttamente l'energia chimica di una soluzione organica biodegradabile in energia elettrica. La trasduzione è realizzata attraverso la mediazione di particolari batteri elettrogeni, normalmente presenti nella sostanza organica, durante il loro naturale ciclo metabolico. La reazione ha l'ulteriore effetto di purificare il substrato chimico di partenza. Tale benefica conversione è misurabile tramite la riduzione del

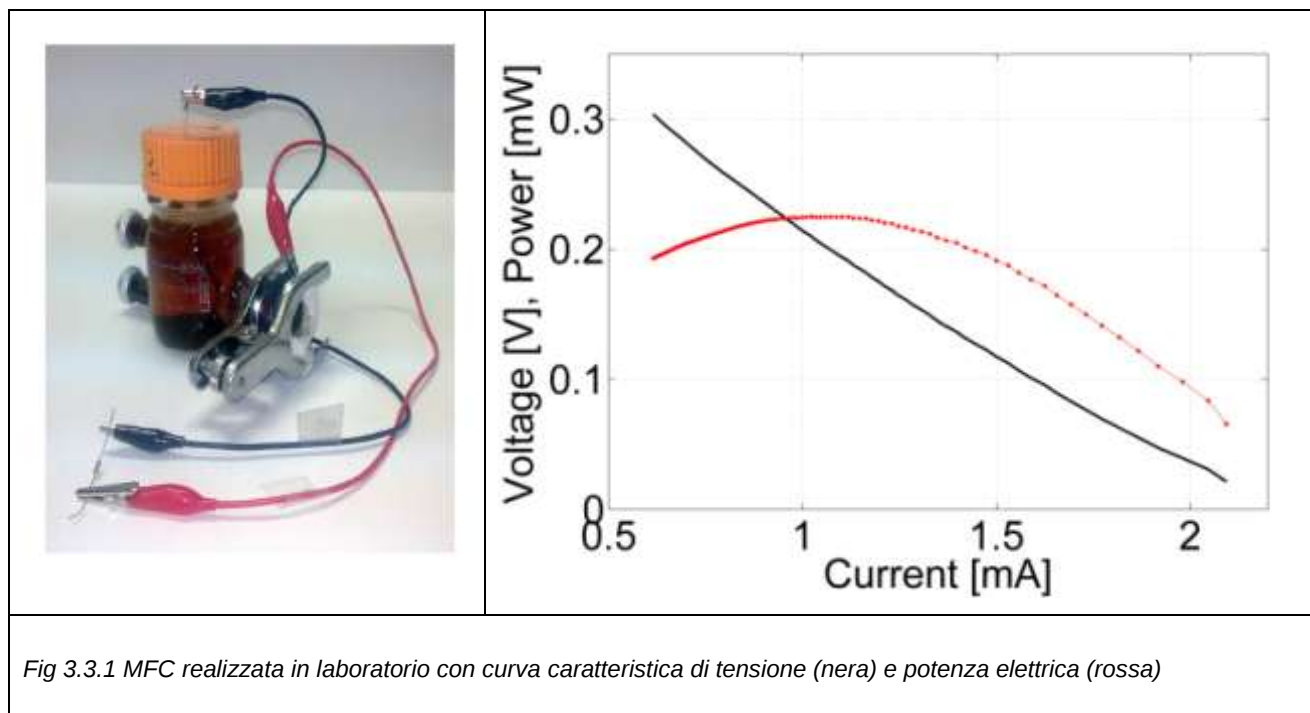
parametro Chemical Oxygen Demand (COD) ed è sfruttata ai fini del trattamento delle acque reflue in ambito civile. La densità di potenza elettrica erogabile da una MFC è decisamente bassa se paragonata ad altre fonti quali ad esempio il fotovoltaico. Ciò rende, ad oggi, tale tecnologia inadatta alla produzione elettrica su larga scala. Tuttavia, vantaggi quali l'utilizzo di tali dispositivi in aree rurali, lo sfruttamento di tecnologie e apparati già esistenti come i depuratori cittadini e i bassi costi rendono particolarmente appetibile tale tecnologia. In particolare, il campo applicativo delle MFCs si innesta nel più ampio contesto dell'Energy Harvesting (EH), un particolare ambito in cui circuiti elettronici low-power vengono alimentati grazie a dei piccoli generatori situati nelle immediate vicinanze del circuito stesso, che sfruttano l'energia disponibile nell'ambiente per sostenere le proprie funzionalità. Una possibile applicazione delle MFC nel conteso EH riguarda il sistema di controllo di un processo di trattamento delle acque reflue. In particolare tramite l'energia elettrica prodotta dalle celle è possibile alimentare circuiti di controllo e dispositivi di monitoraggio quali biosensori ed indicatori ottici. Tali circuiti avrebbero il vantaggio di funzionare senza batterie o connessione alla rete elettrica eliminando i problemi di cablaggio e manutenzione che, in ambienti isolati quali ad esempio i depuratori cittadini, ne depotenziano l'efficacia e la necessità. Un altro possibile ambito applicativo delle MFC è quello della illuminazione e della segnaletica a LED in ambienti isolati quali parchi o zone rurali.

Considerando queste premesse, risulta evidente come la sperimentazione di prototipi elettronici alimentati da MFCs abbia una indubbia validità nel contesto applicativo del progetto INSIEME. In particolare, il sito oggetto di studio risulta particolarmente adatto per l'installazione di sistemi EH basati su MFCs, ospitando un depuratore di acque reflue ed essendo isolato, seppur nel contesto cittadino di Milano.

La fase preliminare di progettazione ha quindi previsto la progettazione di circuiti elettronici alimentati tramite MFC in grado di creare segnali luminosi ed in grado di effettuare misurazioni di parametri ambientali attraverso sensori elettronici. Si è così progettato un circuito per l'attuazione di luci LED intermittenti ed una piattaforma di monitoraggio ambientale con sistema di elaborazione e trasmissione dati wireless.

Dal punto di vista elettrico una singola MFC può essere assimilata ad un generatore elettrico in corrente continua in grado di generare potenza elettrica sotto determinate condizioni.

In Figura 3.3.1 viene mostrata la fotografia di una cella MFC realizzata in laboratorio connessa ad un carico resistivo. Vengono poi riportate le curve caratteristiche di tensione e potenza elettrica, in funzione della corrente elettrica erogata dalla cella.



La potenza elettrica massima erogabile dalla cella è di circa 220 μ A alla tensione di esercizio di 200 mV. La tensione di circuito aperto è di circa 400 mV e la corrente di cortocircuito di circa 2.5 mA. Tali valori, ancorché legati ad un preciso prototipo, sono abbastanza rappresentativi della tecnologia e mettono in evidenza l'intrinseca difficoltà nella progettazione di circuiti elettrici alimentati dalle MFC. In particolare, i livelli di potenza erogati e quindi sfruttabili sono estremamente ridotti, così come le tensioni di esercizio caratteristiche delle celle che difficilmente superano i 400 mV.

La progettazione di sistemi di Energy Harvesting basati su MFC può quindi essere condotta attraverso due macro-strategie, volte al superamento delle difficoltà legate alla ridotta generazione elettrica delle celle:

- 3) E' possibile realizzare sistemi di Energy harvesting alimentati contemporaneamente da più celle connesse tra loro in serie o in parallelo. In questo modo è possibile moltiplicare i livelli di tensione di esercizio e in generale di potenza erogata dal singolo generatore.
- 4) E' altresì utilizzabile un'elettronica low-power e low-voltage in grado di funzionare anche nelle estreme condizioni di esercizio relative alla singola MFC.

Durante i primi tre mesi di attività connessi al progetto "INSIEME", si sono indagate entrambe le strategie con obiettivi e risultati diversi. Sono stati realizzati e testati due circuiti, progettati per funzionare correttamente se alimentati rispettivamente da almeno 10 celle collegate in serie oppure da una singola cella.

In Fig. 3.3.2. è rappresentato uno schema circuitale relativo alla prima strategia per lo sfruttamento delle MFCs. Il circuito è progettato per ovviare ai limiti derivanti dalla ridotta generazione di potenza delle celle. Infatti, un carico elettrico che realizzi funzionalità complesse come l'acquisizione di dati da sensori e la loro trasmissione wireless oppure la generazione di una luce di segnalazione intermittente a LED, ha un consumo istantaneo di decine di milliwatt. Quindi, pur considerando una rete di 10 MFC in grado di erogare fino a 2 mW di potenza istantanea, un carico utile non è sostenibile e risulta necessaria l'attuazione di una particolare soluzione circuitale. Tale strategia prevede l'accumulo di energia in un condensatore durante una prima fase di carica in cui il carico è spento ed una seconda fase di scarica in cui si abilita il carico e si utilizza l'energia accumulata. Naturalmente, per il principio di conservazione dell'energia, la seconda fase risulta sensibilmente più breve della prima. Il confine tra la prima fase e la seconda corrisponde al momento in cui l'energia accumulata è pari a quella necessaria per la singola operazione del carico. Tale successione di eventi si ripete ciclicamente con comportamento asincrono e cioè non temporizzato ma legato alla produzione istantanea di potenza da parte delle MFCs. Infatti, poiché l'energia utilizzata dal carico per eseguire una singola funzione è fissa, la frequenza delle operazioni dipenderà solamente dalla velocità di accumulazione dell'energia e quindi dalla potenza istantanea generata.

Nel circuito di Fig. 3.3.2. sono riconoscibili le 10 celle connesse in serie, il condensatore di immagazzinamento dell'energia, una circuiteria di controllo o di "Power Management" (PM) ed un carico elettrico generico. Le celle sono direttamente connesse al condensatore e lo caricano con una costante di tempo che dipende dal valore capacitivo del condensatore e dalla resistenza interna delle MFCs. Il PM tiene spento il carico attraverso una rete di MOSFETs e contemporaneamente monitora la tensione sul condensatore, parametro proporzionale all'energia immagazzinata.

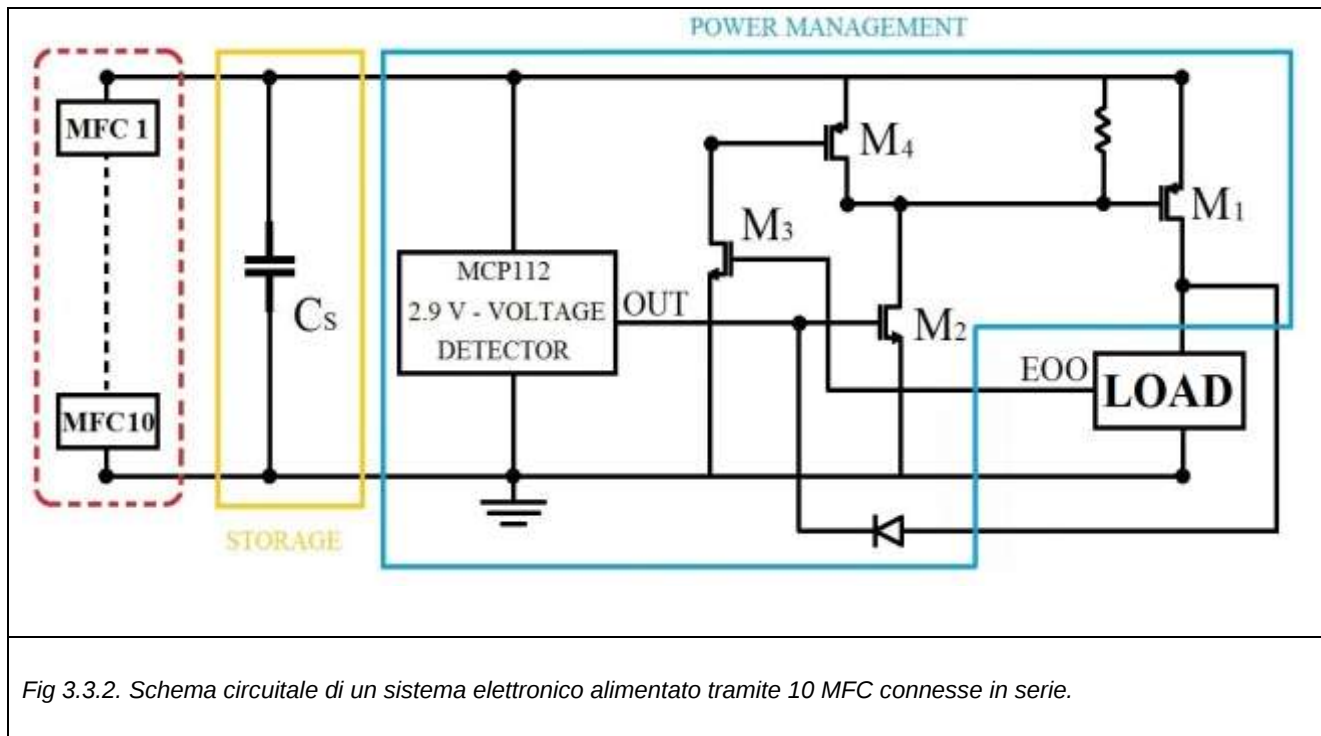
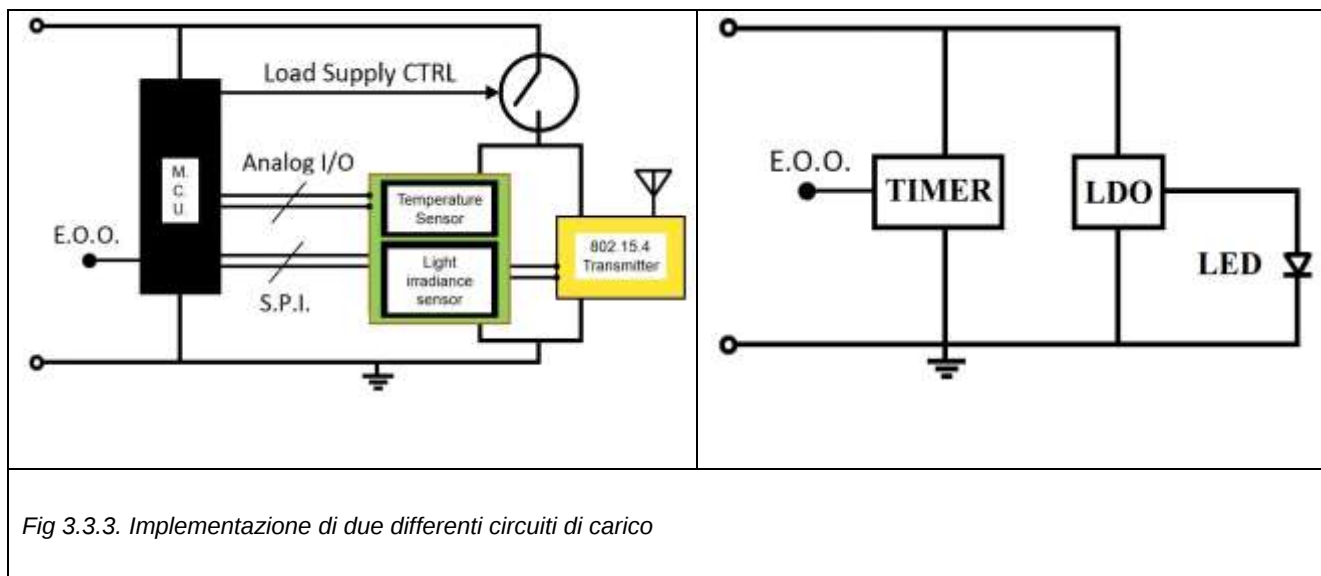


Fig 3.3.2. Schema circuitale di un sistema elettronico alimentato tramite 10 MFC connesse in serie.

Nel momento in cui il condensatore risulta carico ad una tensione di soglia, corrispondente all'energia necessaria per il funzionamento del carico, il PM crea le condizioni per il passaggio alla fase di scarica e gestisce questa fase, durante la quale il carico è alimentato. Sarà il carico, una volta eseguite le funzioni previste, a decretare la fine della fase di scarica agendo sul nodo End Of Operations (EOO) e riportando il circuito nella sua configurazione iniziale, in cui il condensatore torna ad essere caricato. Alla base del PM c'è un particolare componente chiamato "Voltage Detector" (VD) che cambia stato logico di uscita ogniqualvolta la sua alimentazione supera o scende sotto una determinata soglia di tensione. La soglia non viene scelta solo in base all'energia utilizzata dal carico ma anche in base alla tensione di lavoro dello stesso. Una volta fissato questo parametro, il valore capacitivo del condensatore viene dimensionato per garantire il desiderato accumulo energetico alla tensione di soglia. In Fig. 3.3.3. vengono riportati due circuiti di carico usati nell'ambito del progetto. Sulla sinistra viene presentato un circuito per l'acquisizione e trasmissione wireless di dati riguardanti la temperatura ambiente basato su microcontrollore (MCU). Sulla destra invece è rappresentato un semplice circuito per la generazione di segnali luminosi intermittenti a led con regolazione di tensione (LDO) e timer per la generazione del segnale EOO.



Entrambi i circuiti sono progettati per funzionare a circa 3 V, per cui risulta evidente sia la necessità della connessione in serie di 10 MFCs che la soglia del “voltage detector” a 2.9 V.

In Fig. 3.3.4. è rappresentato lo schema circuitale relativo alla seconda strategia per lo sfruttamento delle MFCs. In questo caso, si sfrutta la singola MFC per alimentare una carico per la generazione di luce intermittente. A differenza del caso precedente, oltre a dover gestire il basso afflusso di corrente elettrica prodotta dal generatore il sistema EH incorpora anche un circuito convertitore DC\DC in grado di adattare la bassa tensione di esercizio della singola MFC con la tensione di funzionamento del carico, sempre di circa 3 V.

La soluzione proposta, basata su quella rappresentata in Fig. 3.3.2., include due condensatori di accumulo (C1 e C2), due moduli PM (PM1 e PM2), un modulo DC/DC per la conversione della tensione e una piccola cella fotovoltaica. L’approccio è simile al precedente, si carica un condensatore di accumulo C1 e quando la sua tensione raggiunge una data soglia, il PM1 ne rende disponibile l’energia per le operazioni di carico. Tuttavia l’energia non viene utilizzata direttamente, ma trasferita ad un condensatore intermedio C2 che viene però caricato a più alta tensione (3 V) grazie ad un convertitore DC/DC. Solo quando C2 risulta carico alla tensione di soglia di 2.9 V il carico viene acceso dal PM2 e svolge le sue funzioni, scaricando C2. Mentre PM2 è equivalente al PM del circuito alimentato da 10 MFCs, PM1 (che presenta la bassissima soglia di 0.2 V) è stato realizzato in maniera full-custom senza l'utilizzo di un VD commerciale, non disponibile con soglie così basse. Esso integra una piccola cella solare, che funziona con livelli luminosi molto bassi (ad esempio da interni) e che ne sostiene il funzionamento.

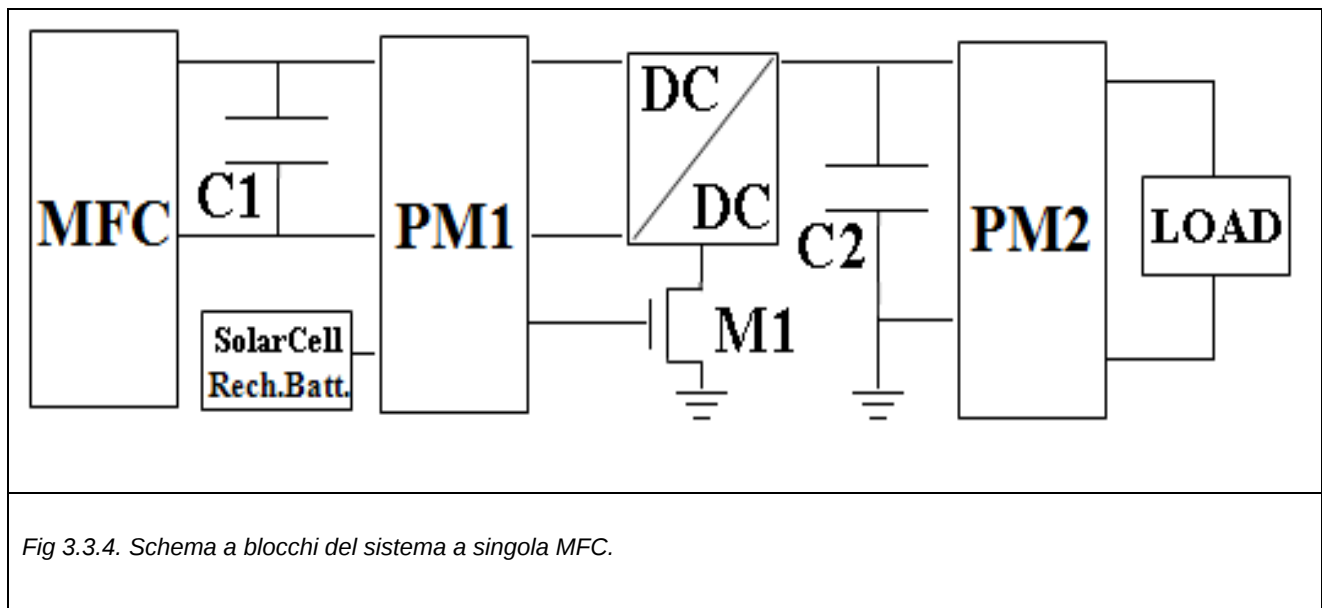


Fig 3.3.4. Schema a blocchi del sistema a singola MFC.

Il circuito descritto è stato realizzato e testato con la cella MFC rappresentata in figura 3.3.5., prodotta nell'ambito di uno studio presso il Laboratorio di Elettronica di Potenza dell'Università di Pavia. Si tratta di una MFC a camera singola senza membrana operante in modalità batch. La cella è costruita in un circuito idraulico, realizzato con tubi di plexiglass, in cui l'acqua da depurare viene mantenuta in movimento per mezzo di una pompa a bassa portata. Il volume interno della cella è di circa 7 litri. L'anodo è costituito da tessuto di carbonio, avvolto attorno ad un supporto in acciaio inox e posto all'interno del tubo. Il catodo è realizzato anch'esso in tessuto di carbonio inserito tra due supporti in acciaio inox e posto all'estremità superiore del tubo. La superficie del catodo è 75 cm^2 , la distanza tra gli elettrodi è pari a 3 cm. La cella è riempita con acque reflue prelevate presso l'impianto di trattamento di Pavia, con un COD pari a circa 300 mg/l. Il circuito e i risultati ottenuti a partire dal prototipo di MFC sono stati presentati alla "5th European Fuel Cell 2013 Technology and Applications Conference - Piero Lunghi Conference", svoltasi a Roma dall'11 al 13 Dicembre 2013.

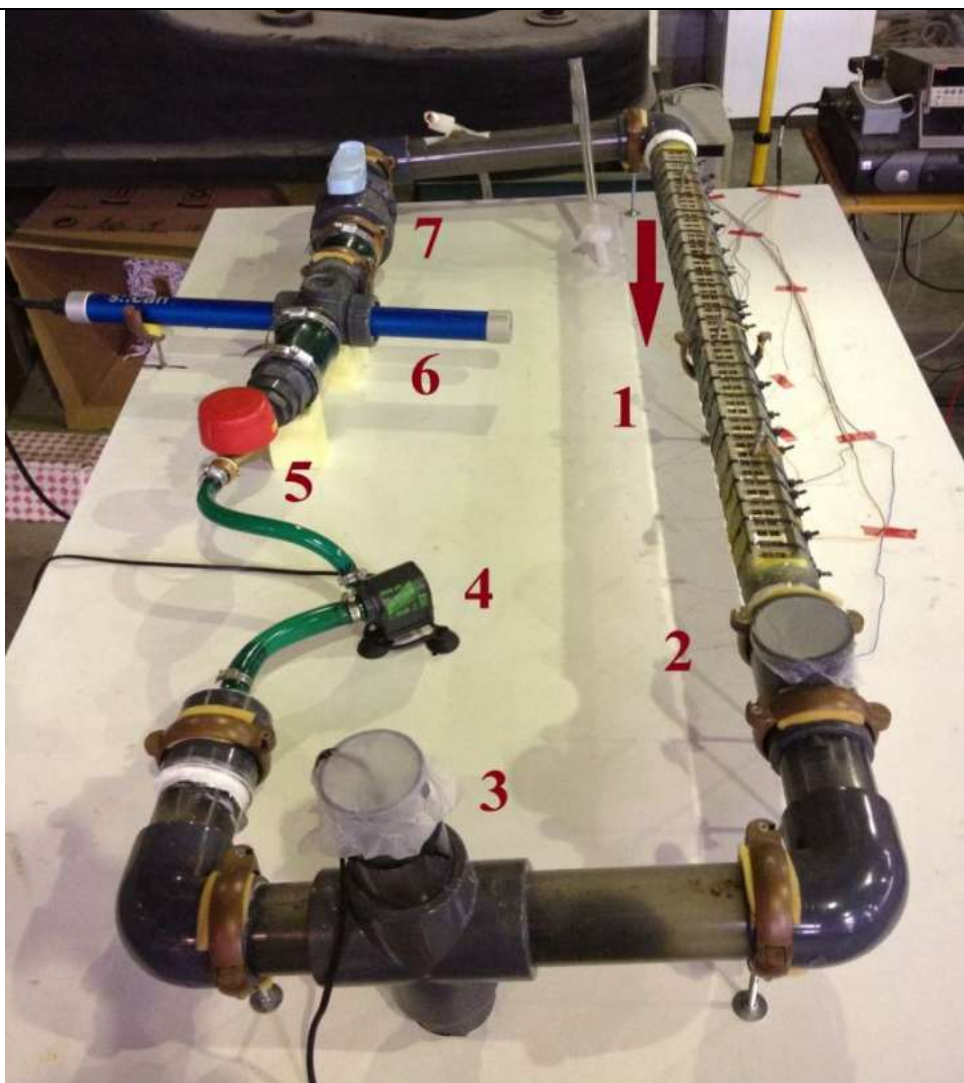


Fig 3.3.5. Fotografia della MFC sperimentale realizzata presso l'Università degli Studi di Pavia.

- 1 Area attiva con elettrodi
- 2 Accesso per prelievi
- 3 Accesso termostato
- 4 Pompa
- 5 Misuratore di portata
- 6 Sonda spettrofotometrica
- 7 Valvola a sfera

I circuiti presentati hanno permesso la realizzazione di alcuni eventi dimostrativi, che si sono svolti presso l'associazione NOCETUM di Milano nell'ambito delle festività natalizie del 2012, con la presentazione dei circuiti realizzati a scopo didattico ed illustrativo. A tali eventi hanno partecipato numerose scuole; nelle Fig. 3.3.6.-3.3.7.-3.3.8. sono mostrate alcune fotografie scattate in occasione di tali manifestazioni. Sono riconoscibili alcune MFCs del tipo mostrato in Fig. 3.3.1. ed

una particolare MFC sperimentale realizzata all'interno di un vaso da fiori, in grado di sfruttare la sostanza organica presente all'interno del normale terreno. A partire da tali celle veniva illuminato in maniera intermittente l'albero di natale, visibile nel dettaglio in Fig. 3.3.7. e realizzata una misura di temperatura dell'ambiente con trasmissione wireless dei dati ad un laptop PC usato come ricevitore e display delle informazioni.



Fig 3.3.6. Fotografia relativa agli eventi dimostrativi svoltisi presso l'associazione NOCETUM: panoramica dei sistemi realizzati



Fig 3.3.7. Fotografia relativa agli eventi dimostrativi svoltisi presso l'associazione NOCETUM: particolare dell'albero di natale illuminato



Fig 3.3.8. Fotografia relativa agli eventi dimostrativi svoltisi presso l'associazione NOCETUM: coinvolgimento delle scolaresche

3.4 Studio di un biosensore della qualità dell'acqua presso la Roggia Vettabbia

Una cella a combustibile microbica (MFC) è un bioreattore nel quale, ad opera dell'attività catalitica dei microrganismi, è possibile convertire direttamente in energia elettrica l'energia chimica delle sostanze organiche.

L'attività svolta nel corso del progetto INSIEME dall'Università di Milano – Bicocca in collaborazione con RSE ha riguardato gli aspetti relativi allo studio di base delle comunità microbiche operanti nelle MFC, attraverso l'utilizzo di tecnologie di biologia molecolare avanzata, e lo studio dell'applicazione delle MFC come biosensore per la stima della concentrazione di sostanze organiche degradabili residue nelle acque depurate e nei reflui. I dati molecolari, associati alla sperimentazione condotta, contribuiscono a fornire le conoscenze di base per uno sviluppo della tecnologia delle celle a combustibile microbiche per applicazioni che la depurazione di reflui fognari ed il trattamento di digestati da biogas.

3.4.1 Studio di un biosensore per la stima del parametro BOD

Il presente studio è stato oggetto di una tesi di laurea triennale in Chimica dello studente Tommaso Truppi che si allega alla relazione (vedi allegato 2).

Le attività di seguito descritte si pongono l'obiettivo di sviluppare un bio-sensore per stimare il valore di BOD (Biological Oxygen Demand) in un refluio mediante l'utilizzo la tecnologia innovativa delle MFC (Microbial Fuel Cells).

Esistono sostanzialmente due tipologie di MFC: a doppia camera (Two Chamber Microbial Fuel Cell - TCMFC) e a camera singola (Single Chamber Microbial Fuel Cell - SCMFC).

Le TCMFC, sono composte da un comparto catodico ed uno anodico e dunque necessitano una membrana protonica. Le membrane utilizzate hanno tuttavia un costo elevato e possono essere ostruite dai materiali in sospensione presenti nel refluio (bio-fouling). Nelle SCMFC si elimina il comparto catodico e dunque può essere eliminata anche la membrana protonica, abbassando sensibilmente i costi.

Nel presente lavoro, è stato costruito un sistema con 3 SCMFC poste in connessione di flusso e alimentate in continuo con il refluio proveniente dall'impianto di depurazione di Nosedo (Milano). L'acetato di sodio è stato utilizzato come sostanza organica modello ed è stato aggiunto al refluio in modo da costituire il substrato ossidabile per i microrganismi. Il sistema è stato mantenuto ad una temperatura di 28.5 °C e in flusso costante a circa 1,8 L/h (Figura 3.4.1).

La prima parte del lavoro ha permesso l'implementazione del circuito di tre celle, termostatate e con flusso controllato. In tale periodo, sono stati quindi prodotti gli elettrodi, variamente modificati, più adatti per poter sostenere periodi di lavoro medio-lunghi e variazioni di pressione causata dalla presenza del flusso e pompe. I seguenti parametri del sistema sono stati costantemente monitorati: potenziale Redox, pH, conducibilità, COD (Chemical Oxygen Demand).

È da notare che non viene determinato il BOD. La misurazione del COD è, però, indice del BOD, siccome i processi metabolici batterici possono eliminare unicamente la parte biodegradabile della sostanza organica. La determinazione del COD porta quindi alla valutazione sia del BOD consumato ($COD_{iniziale} - COD_{finale}$), sia del COD residuo caratteristico del refluo che si sta utilizzando.

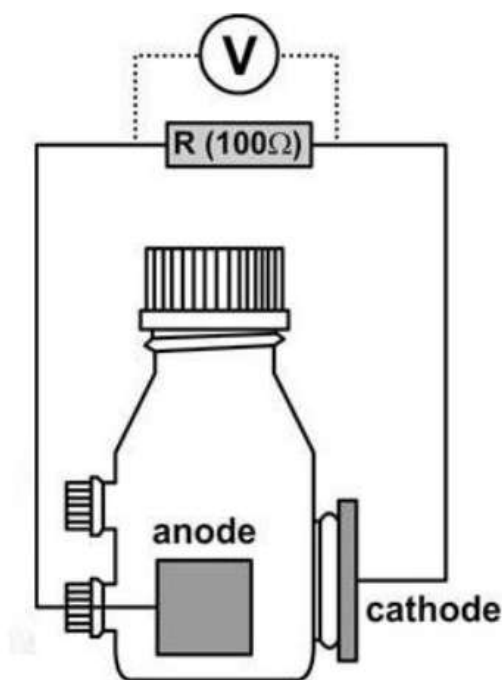


Fig 3.4.1. Schema e fotografia delle MFC impiegate

Tali parametri chimico-fisici sono stati seguiti nel tempo per un periodo di tre mesi. Alle celle è stata applicata una resistenza in serie di 100 ohm. La crescita del biofilm elettrogenico era quindi evidenziata dallo sviluppo di una differenza di potenziale (ddp) ai capi della resistenza e, quindi, di una corrente fluente attraverso di essa. È stata quindi registrata anche questa ddp, riconducibile alla potenza erogabile e al grado di digestione del substrato organico.

Il parametro da correlare con il COD (o BOD) è quindi quest'intensità di corrente.

Nella prima parte della sperimentazione i microrganismi planctonici presenti nel refluo hanno utilizzato le sostanze organiche principalmente per la respirazione aerobica. Quando l'ossigeno è stato consumato la comunità microbica si è spostata verso un metabolismo anaerobico e alcune popolazioni hanno iniziato a colonizzare l'elettrodo che funge da accettore di elettroni. Con lo sviluppo del biofilm, si è assistito all'aumento della potenza di cella erogata, fino ad arrivare a un valore costante nel tempo. In queste due fasi i valori di COD osservati sono risultati in diminuzione, senza quindi che si osservasse una relazione tra COD e intensità di corrente. I processi elettrogeni continuano fino a quando vi è sostanza organica metabolizzabile nel refluo. La potenza cala quindi a zero. In seguito ad aggiunta di nuovo acetato, i processi elettrogeni riprendono quasi istantaneamente.

Al diminuire del valore di COD si è successivamente osservata proporzionalità tra il valore di COD e l'intensità di corrente. Il sensore ha mostrato una massima risposta del sistema in esame nell'intervallo di concentrazione tra 100-120 mg/L. Dai dati ottenuti si è evidenziato che esiste una correlazione di tipo lineare, seppur in intervalli di COD ristretti. In particolare, si è dimostrato che al di sopra di 110-120 ppm di COD, la correlazione ha bassa pendenza, indicando che le fonti di carbonio organico modificano di poco la risposta elettrogena batterica. Al di sotto di 110-120 ppm, si ha invece una correlazione lineare molto più marcata, dove piccole variazioni di COD modificano di molto la corrente prodotta (pendenza lineare più elevata (figura 3.4.2)).

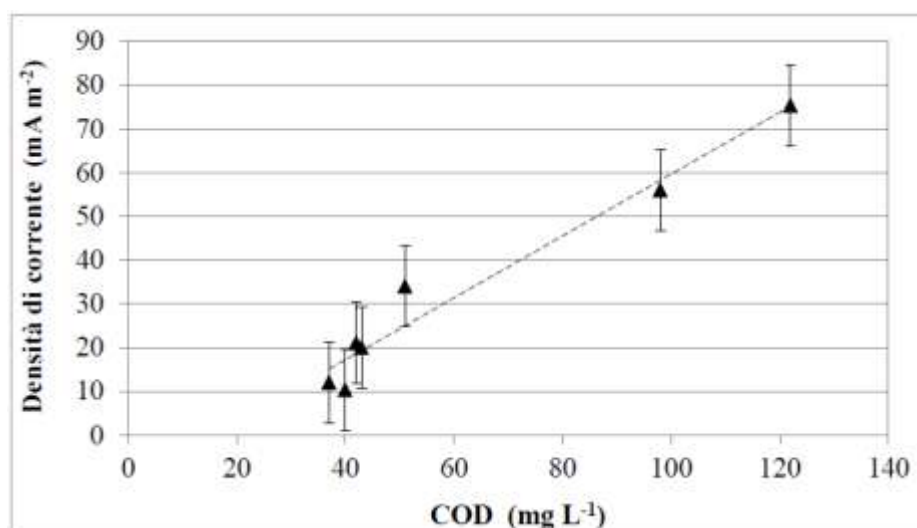


Figura 3.4.2. Relazione lineare tra densità di corrente e COD per valori minori di 120 mg/L.

Nell'intervallo di tempo di questa sperimentazione (tre mesi), e con il tipo di celle utilizzate (SCMFCs da laboratorio, non ottimizzate per analisi in flusso) tali intervalli di COD, pendenze, intensità di corrente, sono risultati riproducibili. Al di sotto del valore di 20 mg/L di COD la produzione di corrente si è arrestata. La strada per la produzione di un sensore in grado di misurare basse concentrazioni di COD basato su bio-tecnologie sembra quindi percorribile. La strada per la produzione di un sensore in grado di misurare basse concentrazioni di COD, basato su bio-tecnologie elettrochimiche sembra quindi percorribile.

In particolare, la sperimentazione condotta ha permesso di evidenziare la possibilità di realizzare un bio-sensore on-off, che consente di verificare la presenza/assenza di una concentrazione di COD al di sopra o al di sotto di 100 - 110 mg/L. Questo risultato è molto importante alla luce dei limiti di legge sullo scarico in acque naturali, che per un depuratore è imposto a 160 mg/L di COD come massimo. Sulla base della sperimentazione condotta, un biosensore di COD sarà sperimentato in campo, nell'acqua depurata dal depuratore di Nosedo, nella restante parte del progetto.

Ulteriori sperimentazione dovranno essere programmate per verificare le variazioni della pendenza delle rette di correlazione COD/corrente in funzione dell'assemblaggio sperimentale delle celle, sviluppo e invecchiamento dei biofilms elettrolici e tipo di refluo.

3.4.2 Studio delle comunità batteriche operanti in celle a combustibile microbiche a singola camera

I risultati qui riportati sono stati oggetto di un contributo presentato alla conferenza "Piero Lunghi Conference (EFC13)" svoltasi a Roma il 11-13 Dicembre 2013 di cui si allega l'abstract (vedi Allegato 3). Un articolo scientifico è stato inoltre sottoposto per la pubblicazione alla rivista "International Journal of Hydrogen Energy" ed è attualmente in corso di referaggio.

In questo lavoro ci siamo concentrati sulla descrizione delle comunità batteriche anodiche e catodiche in una cella a combustibile microbica a singola camera (SCMFC) inoculata con il digestato da un impianto a biogas. La caratterizzazione è stata effettuata mediante la tecnologia di sequenziamento di nuova generazione (NGS) Illumina, tramite il sequenziamento del gene 16S rRNA con l'obiettivo di ottenere un quadro più chiaro dei processi che selezionano le popolazioni batteriche su nelle SCMFC elettrodi. L' esperimento è stato condotto utilizzando una SCMFC (volume della soluzione: 125 mL) azionato con una resistenza esterna (R_{ext}) di 100 Ω , ad una temperatura di 30 ± 2 ° C. Un catodo Pt -free (10 cm² di superficie proiettata) è stato realizzato con tessuto di carbonio (30% in peso-PTFE).

L'anodo è stato costruito con un panno carbonio non trattato (SEAL, Legnano). La cella è stata inoculata con digestato proveniente da un impianto di biogas e la corrente è stata monitorata nel tempo. Campioni di biofilm anodici e catodici sono stati raccolti dopo 41 giorni, al fine di descrivere in dettaglio le comunità batteriche.

Il DNA batterico totale è stato estratto dai campioni utilizzando la Spin FastDNA per il kit del suolo (MP Biomedicals , Solon , OH , USA) secondo le istruzioni del produttore. Le regioni ipervariabili V5 - V6 del gene 16S rRNA sono state amplificate mediate PCR. Il sequenziamento dei campioni è stato eseguito tramite il sequenziatore Illumina Hiseq 1000 presso BMR Genomics, Padova, Italia . L'attribuzione tassonomica delle sequenze è stata effettuata utilizzando il classificatore RDP.

Gli ordini più abbondanti nella comunità anodica sono mostrati in Fig 3.4.3 e erano *Deferribacterales* (51,6 % delle sequenze) e *Rhodospirillales* (9,0 % delle sequenze). Nel biofilm catodico principali gruppi tassonomici sono stati *Oceanospirillales* (37,8 % delle sequenze) e *Bacteroidales* (20,4 % delle sequenze). Una più approfondita caratterizzazione degli ordini più abbondanti è stata effettuata a livello di famiglia e di genere. Quasi tutte le sequenze rilevate classificate come *Deferribacterales* appartengono alla famiglia *Deferribacteraceae* e al genere *Geovibrio* (98,1 % delle *Deferribacterales*). Questo genere è caratterizzato da batteri gram negativi strettamente anaerobi in grado di accoppiare l'ossidazione di acetato con Fe (III) , S₀ , Co (III) e Se (VI) di riduzione. Il *Geovibrio* non è correlato agli altri batteri metallo-riduttori del phylum dei Proteobacteria e forma una linea separata [30].

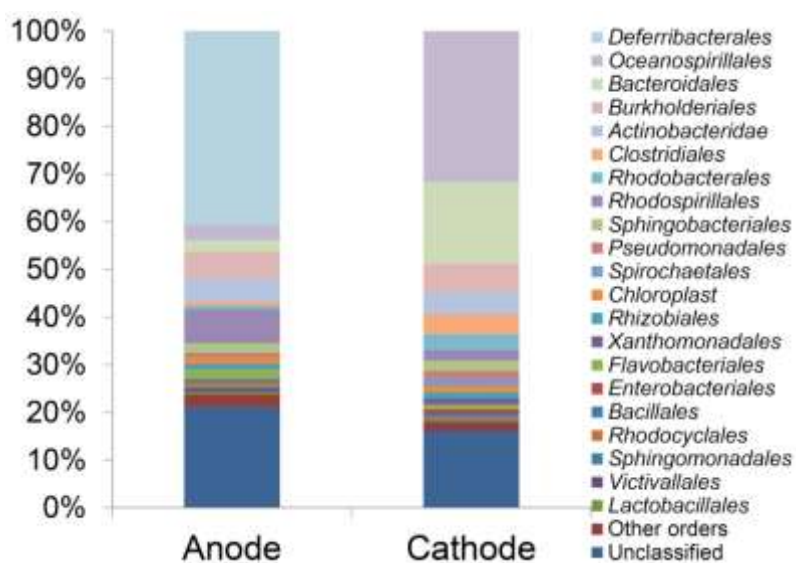


Figura 3.4.3. Classificazione a livello di Ordine delle principali popolazioni batteriche di anodo e catodo

L'importanza delle *Deferribacteraceae* come microrganismi bioelettrogenici è stata riportata precedentemente. In tal caso, i cloni vicino a *Geovibrio ferrireducens*, *Geovibrio thiophilus* e *Denitrovibrio acetiphilus* (tutti i membri della famiglia *Deferribacteraceae*) sono risultati essere i più abbondanti nella comunità microbica dell'elettrodo. Tra i *Rhodospirillales* due famiglie principali sono state individuate: *Acetobacteraceae* (4,1 % delle sequenze) e i batteri purpurei non solfurei (PNS) appartenenti alle *Rhodospirillaceae* (94,4 % del *Rhodospirillales*). All'interno di quest'ultima famiglia sono stati individuati diversi generi e il più abbondante erano *Caenispirillum*, *Roseospira*, *Skermanella*, e *Rhodospira* (rispettivamente 35,9 %, 26,7 %, 9,5% e 4,1 % del *Rhodospirillales*). I PNS sono un gruppo non-tassonomico con un metabolismo versatile, possono crescere come fotoeterotrofi ma usano anche forme ridotte di zolfo, quali S, H₂S o Fe (II), e passare da una modalità un'altra funzione delle condizioni disponibili quali la concentrazione di ossigeno, fonte di carbonio e la sorgente luminosa. L'ossidazione di H₂S porta alla formazione di SO che viene poi convertito in SO₄²⁻. *Rhodopseudomonas palustris*, un batterio PNS, è stato ritrovato come popolazione dominante insieme a *Geobacter sulfurreducens* nel biofilm anodico di una SCMFC quando esposti ad elevate intensità di luce.

Tra gli *Oceanospirillales*, il taxon più abbondante nella comunità catodica, la biodiversità è risultata molto bassa in quanto il 98,4 % delle sequenze apparteneva al genere *Nitrincola* (famiglia *Oceanospirillaceae*). Microrganismi appartenenti a questo genere erano precedentemente isolati da ambienti alcalini. *Nitrincola lacisaponensis*, per esempio, mostra la sua massima crescita ad un pH di 9,0, ed è in grado di utilizzare una vasta gamma di fonti di carbonio utilizzando sia O₂ sia NO₂⁻ come accettori di elettroni. È stato precedentemente dimostrato che il pH è un parametro fondamentale durante il funzionamento MFC e la riduzione dell'ossigeno al catodo può portare a pH alcalino nella camera catodica di due MFC camera. La diversità microbica delle popolazioni catodiche era più alta nell'ordine *Bacteroidales*, con il 79,3% delle sequenze appartenenti alla famiglia *Porphyromonadaceae* (59,4 % delle sequenze apparteneva al genere *Paludibacter*) e il 18,9 % alle *Marinilabiaceae*.

In conclusione, dopo 41 giorni di funzionamento della SCMFC si sono sviluppate comunità batteriche che hanno permesso la produzione della corrente elettrica circolante nella cella. La comunità anodica era dominata da Fe (III) riduttori appartenenti al genere *Geovibrio*, confermando i risultati ottenuti in studi precedenti. La presenza di microrganismi alcalifili in entrambe le comunità suggerisce che il pH ha avuto una forte influenza nel determinare la composizione microbica, ma la grande presenza di microrganismi appartenenti al genere *Nitrincola* nel biofilm catodico può essere dovuto a condizioni più alcaline vicino al catodo.

La comunità al catodo è caratterizzata da microrganismi sia aerobici sia anaerobici, suggerendo che un gradiente di ossigeno influenza la composizione del biofilm.

3.4.3 Attività sperimentali in laboratorio per verifica dell'operatività del biosensore a lungo termine

Nel seguente paragrafo verranno riportate le attività sperimentali condotte da RSE e Università Bicocca nella seconda parte del progetto INSIEME con i risultati successivi a quelli riportati nella relazione del Marzo u.s.. Non avendo avuto le possibilità di installare il biosensore nella Roggia Vettabbia a causa di veti autorizzativi, le attività sono proseguite a livello di laboratorio per il consolidamento dei risultati ottenuti e la verifica dell'operatività del biosensore a lungo termine.

Come riportato precedentemente, l'obiettivo finale del progetto è quello di sviluppare un biosensore per stimare il valore di BOD (Biological Oxygen Demand) in un refluo mediante l'utilizzo la tecnologia innovativa delle MFC (Microbial Fuel Cells). Era stato costruito un sistema con 3 MFC a singola cella poste in connessione di flusso e alimentate in continuo con il refluo proveniente dall'impianto di depurazione di Nosedo (Milano). L'acetato di sodio è stato utilizzato come sostanza organica modello ed è stato aggiunto al refluo in modo da costituire il substrato ossidabile per i microrganismi. Il sistema è stato mantenuto ad una temperatura di 28.5 °C e in flusso costante a circa 1,8 L/h (Figura 3.4.3.a).

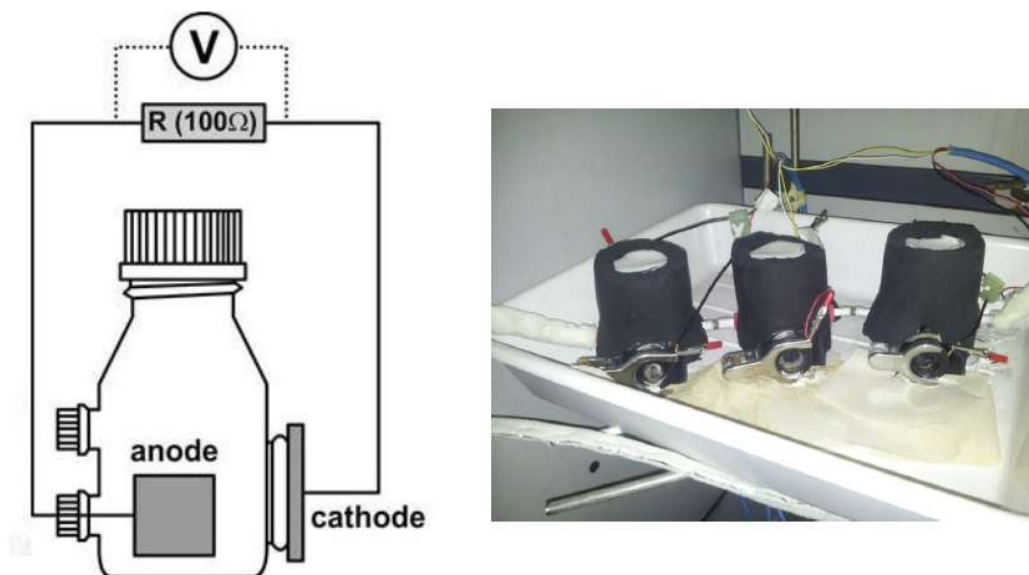


Figura 3.4.3.a. Schema e fotografia delle MFC impiegate

Relazione illustrativa – Versione finale
dicembre 2014

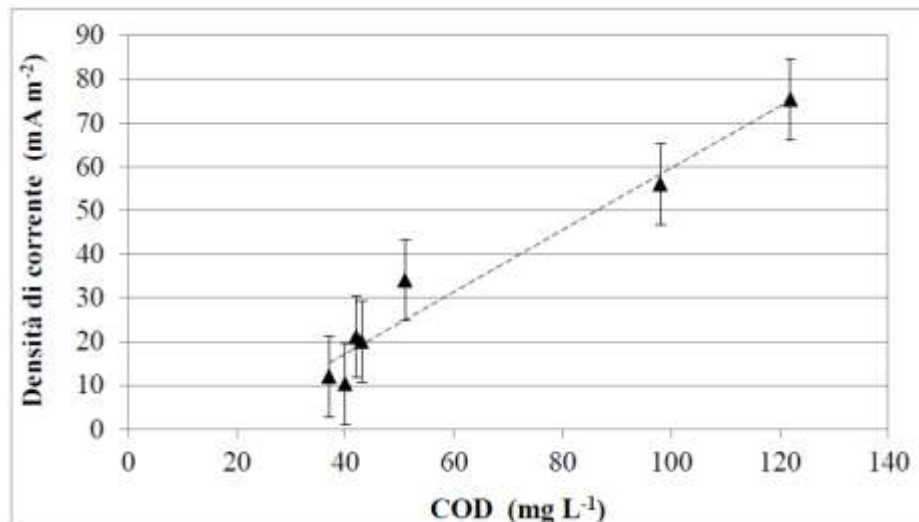


Figura 3.4.3.b. Relazione lineare tra densità di corrente e COD per valori minori di 120 mg/L.

Come riportato nel grafico in figura 3.4.3.b, si era ottenuta una certa linearità di risposta tra corrente prodotta e concentrazione di acetato per valori di COD tra 20 mg/L e 100 mg/L. Al di sotto del valore di 20 mg/L di COD la produzione di corrente si è arrestata.

Nella parte finale del progetto si è quindi deciso di valutare la stabilità nel tempo della risposta del biosensore. Nel grafico in figura 3.4.3.c è riportato l'andamento della tensione di tre sensori nel corso di tutta la prova, della durata di più di trecento giorni. I triangoli neri indicano l'aggiunta di acetato. Sulla seconda ordinata è riportata la concentrazione di COD misurata durante prima parte della sperimentazione.

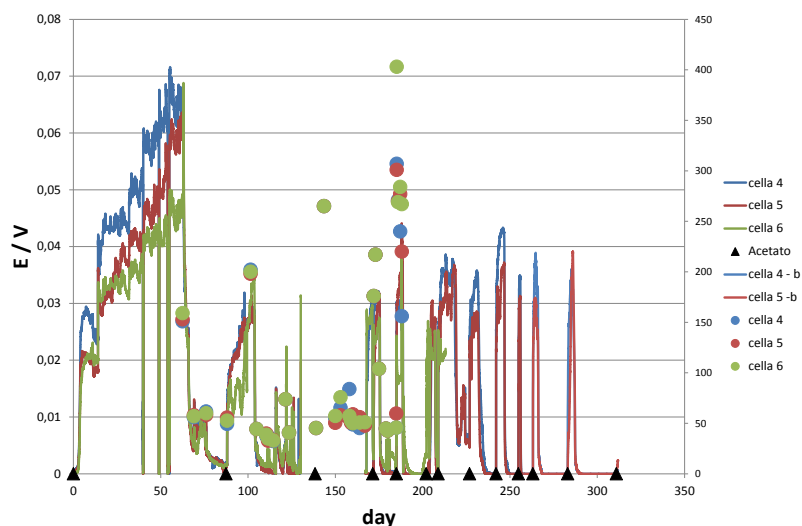


Figura 3.4.3.c. Andamento temporale del segnale elettrico nel corso della nuova sperimentazione

Particolarmente significativi sono i risultati degli ultimi 100 giorni di sperimentazione mostrati in figura 3.4.3.d. In questa fase, una volta stabilizzatosi il sistema, si è osservata un'estrema riproducibilità del segnale elettrico a seguito delle aggiunte di acetato.

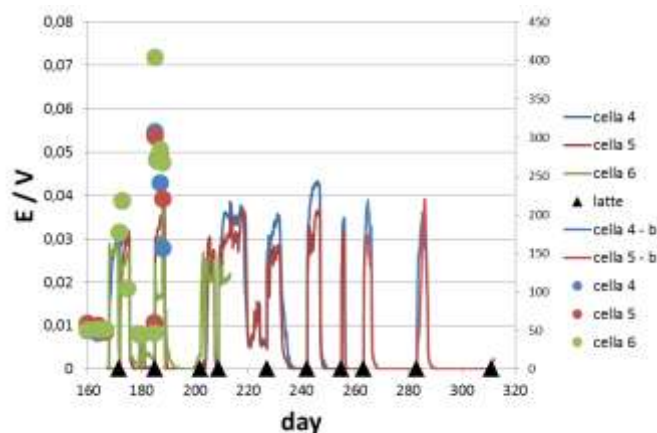


Figura 3.4.3.d. Dettaglio degli ultimi 100 giorni di sperimentazione

In conclusione, i dati fino a qui raccolti indicano che è la configurazione di MFC testata ha permesso di ottenere valori di corrente elettrica in relazione lineare con le concentrazioni di sostanza organica in un intervallo ampio e che tale risposta è costante nel corso del tempo di utilizzo del biosensore.

Si riportano inoltre i riferimenti bibliografici e si fa rimanda alla all'articolo scientifico recentemente accettato per la pubblicazione sulla rivista New Biotechnology che contiene i dati sperimentali riportati nella precedente relazione.

Matteo Daglio, Isabella Gandolfi, Giuseppina Bestetti, Andrea Franzetti, Edoardo Guerrini, Pierangela Cristiani, *Anodic and cathodic microbial communities in single chamber microbial fuel cells*, *New Biotechnology*, Volume 32, Issue 1, 25 January 2015, Pages 79-84, ISSN 1871-6784, <http://dx.doi.org/10.1016/j.nbt.2014.09.005>.

3.5 Reattore dimostrativo-didattico di produzione di biogas da fanghi e rifiuti organici

Come indicato nella relazione del progetto Insieme, si procede al dimensionamento e alla descrizione dell'allestimento di un piccolo reattore dimostrativo-didattico per la produzione di biogas da codigestione di fanghi di depurazione e altri rifiuti organici, principalmente FORSU (frazione organica dei rifiuti solidi urbani).

Dimensionamento di massima

Tra le alternative di substrati da alimentare in codigestione è stata selezionata la FORSU (Frazione organica rifiuti solidi urbani), in considerazione dell'avvio delle raccolte differenziate di questa matrice, recentemente giunta ad interessare il 100% della città di Milano. La provenienza della FORSU potrebbe essere anche da ristoranti o mense. Oltre all'umido della raccolta differenziata si è considerata l'eventuale alimentazione di scarti di mercato ortofrutticolo, caratterizzati da una resa specifica di produzione di biogas simile agli scarti da cucina. Si è inoltre ritenuto interessante valutare la possibilità di co-digerire la FORSU con i fanghi di depurazione del vicino impianto di Nosedo. Se disponibili vi è la possibilità di alimentare anche altri sottoprodotti dell'agroindustria. Come esempio di scarti dell'agroindustria si sono selezionate le trebbie di birra, sottoprodotto della lavorazione della birra, interessante sottoprodotto visto il notevole numero di micro birrifici nel territorio.

Tutti i dati di caratterizzazione delle matrici (ad esempio tenori di ST, SV/ST) e la produzione di biogas/metano utilizzati per queste stime sono basati su precedenti esperienze sperimentali del Politecnico (Scaglione et al. 2008, Scaglione et al. 2014).

Nella successiva tabella si riporta una stima dei quantitativi di substrati necessari.

In tabella viene riassunta l'alimentazione prevista e il metano atteso, considerando come BMP per i substrati i seguenti valori già indicati in relazione del marzo 2014 e una resa del 90% rispetto al potenziale:

-fango di supero ispessito	150 NL/kgSV
-FORSU o scarti di mercato	650 NL/kgSV
-scarti agroindustria (es. trebbie di birra)	400 NL/kgSV

sottoprodotto	quantità alimentata		ST	SV/ST	SVin	frazione volatili	Metano atteso
	g/settimana	g/d	%	%	g/d	%	L/d
Fango ispessito	280	40	6%	67%	1,61	36%	0,22
Scarti di cucina	56	8	30%	95%	2,28	51%	1,33
Scarti agro-ind.	21	3	23%	82%	0,566	13%	0,20
alimento totale	357	51	11%		4,45		1,8

Con tale alimentazione e considerando un volume di 2L il tempo di residenza medio HRT risulta di 39 giorni e il carico organico volumetrico di 2.2 kgSV/L/d, corrispondenti a valori medi di letteratura, mantenendosi però a favore di sicurezza per evitare eventuali sovraccarichi.

Come si può notare, la gran parte della produzione di biogas è riconducibile al processo di digestione anaerobica della FORSU. La produzione stimata attuale in Italia della FORSU è di circa 7,4 milioni di ton all'anno, corrispondente a circa il 28% dei rifiuti solidi urbani prodotti.

La produzione pro-capite per abitante al giorno di FORSU in Italia, si può stimare in circa 400g. La produzione quotidiana media di rifiuto organico di una famiglia di 4 persone potrebbe quindi contribuire alla formazione di circa 360L di metano al giorno, che a titolo esemplificativo consentirebbe il funzionamento per circa 3 ore e fino a 6 ore di un fornello da campeggio (ad es. modello Ardes 9001FM). Sarebbero però necessari volumi di reattore di 2 ordini di grandezza superiori rispetto a quello previsto dalla presente relazione e ovviamente tecnologia adeguata.

Valutazione della tipologia di reattore

Tra le alternative possibili sono state valutate le seguenti:

1. reattore automatizzato con alimentazione e scarico programmabili;
2. reattore batch;
3. reattore con alimentazione e scarico manuali in modalità semibatch;

La alternativa 1 (reattore automatizzato) consiste in un reattore in vetro con doppia camicia per la termostatazione, sonde per la misura dei parametri, pompe di carico e scarico e sistema PLC di controllo. E' stata scartata per motivi di costo e complessità di gestione. Inoltre l'alimentazione di FORSU, anche a seguito di pretrattamento, non può essere effettuata con pompe peristaltiche da laboratorio e richiederebbe sistemi di carico appositi.



Esempio di reattore automatizzato (**alternativa 1**)

La alternativa 2 (reattore batch) consiste in un sistema a tenuta e con misura manometrica della pressione, analogo al sistema di laboratorio impiegato per la misura del BOD. In foto è riportato l'esempio prodotto dalla società tedesca WTW, denominato Oxitop e composto da una bottiglia in vetro del Volume di 1 L provvista di 3 colli di cui 2 laterali con setto perforabile (per iniezione di reagenti) e uno centrale su cui viene avvitato un tappo o una testa con manometro automatico per la misura della sovrappressione generata dalla produzione di biogas. Modificando uno dei due colli con l'inserimento di un rubinetto è possibile avere uno sfiato per il biogas, per la misura volumetrica o per la dimostrazione della presenza del biogas.

Questo tipo di reattore risulta più economico della precedente soluzione, ma anche in questo caso non sarebbe semplice l'alimentazione della FORSU, oltre che eventuali alimentazioni periodiche con scarico di parte del digestato.

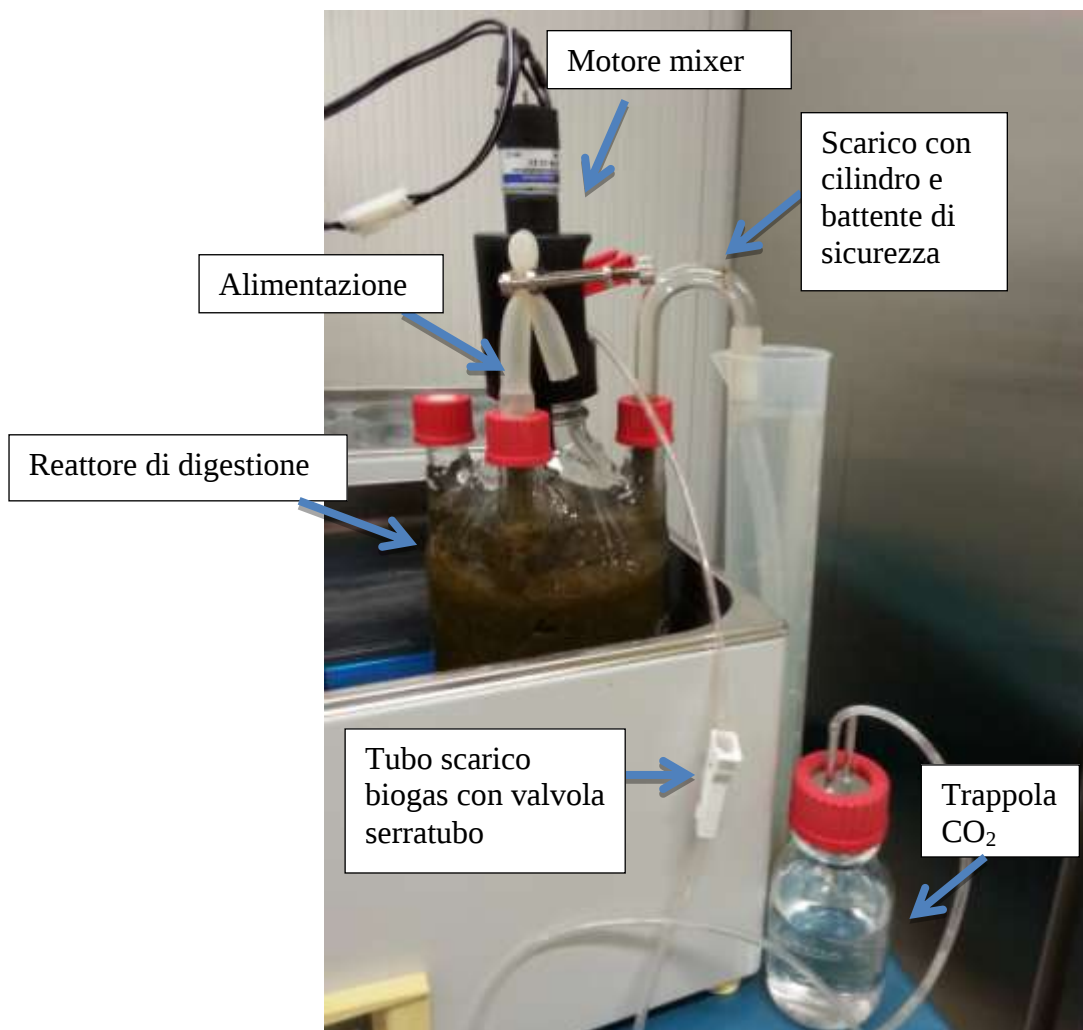
Ulteriori limiti di tale reattore risultano il volume utile di 1L e l'assenza di un sistema di miscelazione adeguato, che avviene solo con ancorotta magnetica (insufficiente in caso di substrati semisolidi).



Reattore Oxitop (**alternativa 2**)

La tipologia selezionata risulta quindi la 3, considerata il giusto compromesso tra semplicità, costo e flessibilità. Tale reattore, in vetro del volume di 2L, che verrà di seguito descritto, permette alimentazioni e scarichi in manuale ed il funzionamento sia in modalità batch in caso di prova singola, che semi-batch in caso di funzionamento in continuo (provvedendo a periodici scarichi e alimentazioni in manuale).

Il volume del reattore è adeguato alle necessità del progetto e lo spazio di testa complessivo sufficiente per accumulare abbastanza biogas che permetta di ottenere alcuni secondi di fiammella dimostrativa, senza però dover raggiungere pressioni elevate.



Reattore selezionato per il prototipo (alternativa 3)

Tra gli accessori opzionali acquistabili in un secondo momento vi sono:

- micro-becco bunsen con rubinetto a vite e fiamma pilota da collegare al beccuccio di uscita del metano;
- manometro digitale per la misura della sovrappressione nel reattore;
- pH metro portatile per la misura del pH del digestato;
- cella per la misurazione in continuo della produzione di biogas (fornita da AMPTS).

In caso si volesse procedere alla misurazione in continuo del biogas, tale adattamento non consente di accumulare gas in pressione nel reattore e non permette quindi di effettuare la dimostrazione con l'accensione della fiammella.

Per semplicità verrà descritta la procedura per la prova dimostrativa in batch, in funzione della disponibilità di personale si valuterà l'opzione di alimentazione in semi-batch.

Materiale

-tritatutto elettrico da cucina (con set 4 lame in acciaio inox) da utilizzare per omogeneizzazione rifiuti. Caratteristiche tipiche ad esempio Kenwood QuadBlade CH 250: contenitore da 0,5 l in acrilico, lavabile in lavastoviglie, 2 livelli di velocità, interamente smontabile, appoggio antiscivolo, cavo avvolgibile, sistema di sicurezza, 500 Watt;



-bottiglia AMPTS (Bioprocess Control) 2L con 2 colli per alimentazione e scarico, collo per uscita biogas e completo di tappo di gomma con asta di miscelazione e ghiera nera con motorino elettrico



-alimentatore (AC adaptor) uscita 9V-500mA per motore elettrico di miscelazione;

-imbuto, siringa da 50mL con becco largo, tubi in PVC trasparente o Tygon in diametri vari (diametro int. 4-8-10 mm) forniti con il reattore, raccordi in polipropilene con e rubinetti/stringitubo. Tale materiale è utile per l'alimentazione dei substrati, lo scarico del digestato e lo scarico del biogas;

-bottiglia da 250mL in vetro pirex con ghiera in plastica e piastra in acciaio inox modificata su misura con 2 uscite. Tale bottiglia conterrà una soluzione concentrata (3M) di NaOH da utilizzare come trappola per CO₂. Uno dei due beccucci, che dovrà essere usato per l'accensione della fiammella dimostrativa deve risultare almeno 10-15 cm più alto dell'altro beccuccio in acciaio in cui è collegato il tubo di ingresso del biogas (dettaglio in foto seguente);



- bagno termostato (potenza assorbita 1.2 kW) per mantenere reattore a 35°C;
- cilindro in plastica da 1L con battente idraulico di sicurezza;
- inoculo (digestato di digestore agricolo primario)
- substrati (fango di supero depuratore, rifiuto da cucina + eventuale altro rifiuto agroindustria)



Metodo dimostrazione

Opzione BATCH

1. **Preparazione inoculo batterico.** Prelevare 1,5 litri di digestato agricolo (dopo averlo scaldato ad almeno 30°C) da digestore primario e versarlo nel reattore con l'ausilio di un cilindro;
2. **Preparazione substrati:** pulire manualmente lo scarto da cucina da inerti e materiale indesiderato (es. ossa, gusci, nocciolini, carta, plastica) e inserire nel frullatore con il fango attivo ispessito (300 mL di fango ispessito ogni 50 g di FORSU). Frullare il tutto fino a quando il composto risulta omogeneo. Nel caso non si avesse a disposizione il fango attivo ispessito e si voglia alimentare solo FORSU aggiungere 250 mL di acqua per ogni 50 g di FORSU per facilitarne la triturazione;



3. **Alimentazione dei substrati nel reattore.** Aggiungere 350mL di composto frullato. Se disponibile aggiungere circa 20g di altro scarto dell'agroindustria (scarti di caffè o bucce di cacao);



4. **Portare a volume** 2L con digestato agricolo;
5. Flussare con azoto (gas-bag riempita preventivamente) se non si è provveduto ad avviare con l'inoculo il reattore il giorno precedente (in tal caso l'alimentazione dei substrati avviene con siringa con bocca larga collegata a tubo di alimentazione);

6. **Collegare l'uscita del biogas con la trappola di CO₂** (contenente soluzione di NaOH 3M) e serrare con serratubo;
7. Chiudere attivare il mixer e **mantenere in miscelazione al caldo** in bagno termostato (verificare e mantenere il livello di acqua nella vasca) a 35°C.
8. Il reattore viene **mantenuto leggermente in pressione** con il serratubo dell'uscita del gas chiuso e con battente d'acqua in un cilindro di plastica da 1L collegato allo scarico. In alternativa, in caso di periodi di assenza di personale il serratubo di uscita del gas deve essere lasciato aperto e la sovrappressione nello spazio di testa viene dettata dal solo battente liquido del tubicino immerso nella trappola di CO₂.



9. **Attendere** alcune ore (almeno 3 o 4) per consentire un certo accumulo di biogas o, in alternativa, avviare il reattore il giorno precedente con solo inoculo e dosare i substrati frullati con la siringa dalla bocca di alimentazione.
10. **Dimostrazione produzione gas** (fiamma da beccuccio in acciaio presente su bottiglietta di trappola CO₂). Con una sovrappressione di circa 300mbar nello spazio di testa

11. (corrispondente a circa 170 NmL di biogas) si garantisce oltre 1 minuto di fiammella. Per aumentare il volume di accumulo del metano sarebbe possibile utilizzare bottiglie di vetro pirex dal volume di 0,5 – 1L - 2L con medesimo collo GL45 ma sarebbero da verificare le sovrappressioni e i volumi di metano accumulati per garantire condizioni di sicurezza.



La misura della pressione non è indispensabile ma utile per un semplice funzionamento e può avvenire con l'acquisto opzionale di un manometro digitale collegato ad un ago che si inserisca in un setto presente sulla bottiglia (ad. Es. Keller Leo2).



Per opzione semi-batch alimentare 3 volte a settimana il 33% del quantitativo settimanale riportato in tabella e scaricare il medesimo quantitativo di digestato con siringa, facendo attenzione ad evitare ingresso di aria esterna (necessario addestramento di tecnici preposti).

Nel caso risultasse necessario per stimolare la rapida produzione di biogas è possibile prevedere l'alimentazione di acetato di sodio (25ml di soluzione 20 g/L di acetato di sodio corrispondono a una produzione di circa 270 mL di biogas contenente 50% di metano). L'acetato è il composto più semplice, ultimo prodotto della catena trofica di digestione anaerobica, utilizzato dai batteri metanigeni acetoclasti per produrre metano e anidride carbonica.

Modalità stand-by

Il digestato può essere mantenuto in miscelazione riscaldato senza essere alimentato per diversi giorni. Risulta necessario però verificare frequentemente (due volte a settimana) la presenza di un sufficiente quantitativo di acqua nella vasca termostata e mantenere aperto il serratubo di uscita del biogas lasciando sfiatare il metano dal beccuccio inox opportunamente collegato con un tubo all'atmosfera esterna (nel caso che il ricambio d'aria della stanza non sia adeguato).

In caso di periodi di assenza di utilizzazione superiori a 2 settimane provvedere allo smontaggio e alla pulizia del prototipo.

Tale procedura di dimostrazione potrà essere svolta solo da personale adeguatamente addestrato e provvisto dei dispositivi di sicurezza adeguati (camice, guanti, occhiali di protezione). I visitatori non potranno toccare la strumentazione né i rifiuti e i fanghi alimentati.

Tutto il materiale è già in possesso del Laboratorio Rozzi ed eventualmente disponibile per dimostrazione in occasione di eventuale giornata specifica di presentazione a fine progetto.

4. ATTIVITA' DIDATTICA

Per quanto riguarda la valutazione delle utenze scolastiche, ASA (Alta Scuola per l'Ambiente) dell'Università Cattolica del Sacro Cuore è il soggetto referente per questo target all'interno del partenariato, con funzioni di coordinamento sugli interventi didattici (definizione della strategia, costruzione della rete con i soggetti coinvolgibili nella ricerca e coinvolgimento degli istituti scolastici, attivazione dei contatti con le scuole). Le scuole coinvolte sono di ogni ordine e grado, dalle primarie alle secondarie di secondo grado, sino alla formazione universitaria e post universitaria.

Oltre ad organizzare le 20 visite delle classi presso la Stazione Sperimentale sita presso la sede dell'Associazione Nocetum, il compito di ASA nell'ambito del progetto Insieme è di organizzare nella seconda fase di progetto la visita e l'interazione con la formazione universitaria.

La dott.ssa Stefania Fontana ha convocato una riunione il 23 gennaio 2013 con i responsabili dell'associazione Cise 2007, per capire, dai soggetti già attivi sul territorio, quale sia il contesto delle strategie didattiche nell'area di Nocetum, la tipologia delle proposte, la storia delle associazioni, gli scopi.