

PROGETTO 'INSIEME' - *Esperienze di Tecnologie Energetiche Antiche e Future al Servizio della Sostenibilità*
Un'idea progettuale per il Parco della Vettabbia nella Valle dei Monaci

Relazione illustrativa – Versione finale
dicembre 2014



PROGETTO 'INSIEME'
*Esperienze di tecnologie Energetiche Antiche
e Future al Servizio della Sostenibilità*

Un'idea progettuale per il Parco della Vettabbia nella Valle dei Monaci

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Versione finale
dicembre 2014

Iniziativa sostenuta da:

FONDAZIONE CARIPLIO – Settore Ambiente

Via Manin, 23 - 20121 Milano

www.fondazionecriplo.it

dott.ssa. Elena Jachia

dott.ssa Valeria Garibaldi

con dott. Clemente Andrea Savy

(rif Cariplo 2012-1598)

Capofila

ITALIA NOSTRA Onlus

SEZIONE DI MILANO (fino dicembre 2013)

SEZIONE MILANO NORD CINTURA METROPOLITANA (da gennaio 2014)

www.italianostra.org

Cna San Romano – Via Novara, 340 - 20153 Milano

Presidente – dott.ssa Luisa Toeschi

con arch. Mario Cucchi, dott. Ferruccio Frontini, arch. Mariàngeles Expòsito Peinado

Sotto-contraenti

CISE2007

Via Gonzaga,5 - 20123 Milano

www.cise2007.eu

Presidente Ing. Flavio Parozzi

con Segretario Operativo Gianni Pampurini

GREEM – Gruppo Ecologico Est Milano

Via Codogno, 9 - 20139 Milano

www.greem.it

Presidente Gianni Pampurini

con Bruno Riva, Pier Antonio Borroni

ASSOCIAZIONE CASCINE MILANO

Via Valla 25 - 20141 Milano

www.associazionecascinemilano.org

Presidente Umberto Zandrini

con Marta Campostano

Partner

Associazione Nocetum

Via San Dionigi, 77 - 20139 Milano

www.nocetum.it

Presidente Giuseppina Beretta

con dott.ssa Gloria Mari, dott.ssa Marta Campostano, dott. Gaetano Lembo, dott.ssa Maddalena Tommasone

UNIVERSITA' CATTOLICA – ASA (Alta Scuola per l'Ambiente)

Via Trieste 17, Brescia

www.unicatt/ASA

Responsabile del progetto: Prof. Pierluigi Malavasi

con dott.ssa Stefania Fontana, dott.ssa Ilaria Beretta, dott.ssa Erica Cabrioli,

POLITECNICO DI MILANO – Polo territoriale di Cremona

Via Sesto, 41- 26100 Cremona.

www.fabbricabioenergia.it

Responsabile del progetto: prof.ssa Francesca Malpei

con ing. Davide Scaglione

UNIVERSITA' MILANO BICOCCA

Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio

Piazza della Scienza, 1, Milano

www.disat.unimib.it

Responsabile del progetto: dott.ssa Giuseppina Bestetti, dott. Andrea Franzetti

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO

Dipartimento di Bioscienze (Orto Botanico)

Responsabile del progetto: dott. Paolo Tremolada

UNIVERSITA' DI PAVIA

Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione

Corso Strada Nuova, 65 Pavia

Responsabile del progetto: Enrico Dallago

con dott. Alessandro Lazzarini, dott. Alessandro Liberale

Altri soggetti Co-finanziatori

RSE – Ricerca per il Sistema Energetico

Via Rubattino, 54 – Milano

www.rse-web.it

Responsabile del progetto: dott.ssa Pierangela Cristiani

MILANODEPUR Spa

Via san Dionigi, 90 – 20139 Milano

www.depuratorenosedo.eu

Responsabile del progetto: Ing. Roberto Mazzini

con dott.ssa Francesca Pizza

Enti Pubblici Sostenitori

REGIONE LOMBARDIA

Assessorato Sistemi Verdi e Paesaggio

PROVINCIA DI MILANO

Assessorato Energia e ambiente

COMUNE DI MILANO

Consiglio di Zona 4

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Versione finale

Dicembre 2014

INDICE

Premessa

IL PARCO DELLA VETTABBIA.....	9
1. ANALISI DELLE UTENZE E DELLE RISORSE ENERGETICHE.....	14
1.1 Analisi delle utenze presenti:private, pubblichee industriali	
1.1.1.1 Progetti di rete	
1.2 Analisi delle utenze prevedibili e potenziali	
1.3 Analisi preliminare delle risorse energetiche rinnovabili:antiche e avveniristiche	
2. DEFINIZIONE PROTOTIPI DIDATTICI-DIMOSTRATIVI.....	46
2.1 Piano di sperimentazione di celle a combustibile microbiche alimentate da biomassa	
2.1.2 Ricerca finalizzata all'utilizzo dell'energia ricavata da celle a combustione microbica (MFC). Secondo anno di attività	
2.2 Studio di fattibilità di un prototipo digestore di rifiuti a scarti combinato a tecnologie bioelettroniche	
2.2.1 Digestione anaerobica: descrizione processo e produzione di biogas	
2.2.2 Tipologie e classificazione degli impianti di digestione anaerobica	
2.2.3 Criteri di dimensionamento	
2.2.4 Produzione di biogas attesa da rifiuti e sottoprodotti	
2.2.5 Scenari di dimensionamento	
2.2.6 Progetto di un digestore anaerobico a carattere dimostrativo	
2.2.7 Combinazione con tecnologia bioelettrochimica	
2.3 Studio di fattibilità di uso combinato di specie vegetali adatte per la fitodepurazione	
2.3.1. Introduzione	
2.3.2. Modelli di riferimento per la fitodepurazione	
2.3.3. Le vasche di fitodepurazione all'Orto Botanico di "Città Studi"	
2.3.4. La vegetazione nelle vasche di fitodepurazione all'Orto Botanico di"Città Studi"	
2.3.5. Parametri e metodi di analisi dell'acqua	
2.3.5.1. Temperatura	
2.3.5.2. Ossigeno	
2.3.5.3. pH	
2.3.5.4. Conducibilità	
2.3.5.5. Solidi Sospesi	
2.3.5.6. BOD ₅	
2.3.5.7. Alcalinità	
2.3.5.8. Durezza	
2.3.5.9. Azoto Nitrico	
2.3.5.10. Azoto Amonachiale	
2.3.5.11. Azoto Totale	
2.3.5.12. Fosforo Ortofosfato e Fosforo Totale	
2.3.6. Risultati della sperimentazione con le vasche di fitodepurazione all'Orto Botanico di "Città Studi"	

2.3.7. Confronto dei parametri chimico-fisici in entrata ed in uscita alle vasche di fitodepurazione dell'Orto Botanico	
2.3.8. Analisi della biomassa nelle vasche di fitodepurazione dell'Orto Botanico	
2.3.9. Analisi della qualità dell'acqua in uscita dalle vasche di fitodepurazione dell'Orto Botanico	
2.3.10. La realizzazione della vasca di fitodepurazione presso l'Associazione Nocetum nella Valle dei Monaci	
3. REALIZZAZIONE DI STRUTTURE SPERIMENTALI.....	145
3.1 Descrizione Area-Laboratorio: 'Informare, Comunicare Formare'	
3.2 Pozzetto per il prelievo di acqua	
3.2.1 Realizzazione di un prototipo didattico dimostrativo per la fitodepurazione dell'acqua	
3.3 Prototipo di 'scia luminosa' presso la Roggia Vettabbia	
3.4 Studio di un biosensore della qualità dell'acqua presso la Roggia Vettabbia	
3.4.1 Studio di un biosensore per la stima del parametro BOD	
3.4.2 Studio delle comunità batteriche operante in celle a combustibile microbiche a singola camera	
3.4.3 Attività sperimentale in laboratorio per verifica dell'operatività del biosensore a lungo termine	
3.5 Reattore dimostrativo-didattico di produzione di biogas da fanghi e rifiuti organici	
4. ATTIVITA' DIDATTICA.....	184
4.1 Stipula di accordi con istituti scolastici	
4.2 Descrizione attività di laboratorio e visite guidate con scuole dei cicli primari e secondari	
4.2.1 Attività di laboratorio	
4.2.2 Visite guidate	
4.3 Descrizione corsi specialistici per studenti scuole superiori	
5. COMUNICAZIONE E ORGANIZZAZIONE EVENTI.....	202
5.1 Individuazione percorso didattico dimostrativo	
5.2 Convegni	
5.2.1 'Giovani, Scuola e Ricerca Ambientale' – Acquario di Milano 2013	
5.2.2 'Insieme per EXPO 2015' – Acquario di Milano 2014	
5.3 Concorso fotografico	
5.4 Sito Web	
5.5 Altri eventi correlati	
6. PIANO DEGLI EVENTI CONTINUATIVI NEL PARCO DELLA VETTABBIA.....	232
6.1 Trasferibilità del Progetto Insieme nel territorio Bresciano- Parco dell'Adamello	
6.1.1 Matrice di replicabilità	
7. CONCLUSIONI.....	237
8. BIBLIOGRAFIA	239

Allegati

Allegato 1 - Linee guida per il conferimento a CISE2007 del materiale relativo al progetto "INSIEME"

Allegato 2 – Tesi di Laurea *'Sviluppo di un biosensore per il monitoraggio del BOD in un refluo urbano'* del dott. Tommaso Truppi con Prof. Paolo Parenti, dott. Andrea Franzetti, dott.ssa Pierangela Cristiani. Anno Accademico 2012-2013 nella Università degli Studi di Milano – Bicocca – Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali – Corso di Laurea Triennale in Scienze e Tecnologie Chimiche

Allegato 3 – Abstract *'Anodic and Cathodic Microbial Communities in single chamber microbial fuel cells'* of M. Daglio, I. Gandolfi, G. Bestetti, A. Franzetti, P. Cristiani. Fifth european Fuel cell Technology & Applications Conference – Piero Lunghi Conference. December 11-13 2013 Rome (IT)

Allegato 4 – Articolo di Pierangela Cristiani *'Elettricità dai batteri'* pubblicato nella rivista Le Scienze 2014

Premessa

Il Progetto 'Insieme' nasce per dare una risposta a una domanda molto semplice: e' possibile immaginare che anime, interessi, professionalità, culture diverse possano lavorare *'insieme'* per far sì che un determinato territorio come quello della Valle dei Monaci con il Parco della Vettabbia al suo interno possa recuperare lo splendore e la vitalità dei tempi passati?. Per tutti i soggetti coinvolti in questo progetto la risposta è affermativa. Dal 2010, ma possiamo dire da molto tempo prima, i diversi soggetti coinvolti nel Progetto 'Insieme' lavorano attivamente nella direzione della rinascita di questo territorio. La presente relazione raccoglie e documenta il lavoro svolto per due anni dalle diverse professionalità che hanno dato vita al gruppo di lavoro del Progetto che ha lavorato su un territorio molto particolare e caratteristico della città di Milano, quello che da qualche anno viene chiamata la Valle dei Monaci.

Il 1798 fu l'anno di soppressione dell'ordine monastico di Chiaravalle, di declino inarrestabile dell'Abbazia e di tutte i loro possedimenti: tra il 1788-86 viene tagliato il grande Bosco (riconoscibile ancora il suo tracciato nelle carte geografiche), nel 1867 sarà il chiostro bramantesco ad essere eliminato per far passo alla ferrovia, fogne a cielo aperto, versamenti di ogni genere, ecc... Nel 1995 scomparso l'ultima marcita, dai racconti dell'ultimo agricoltore che teneva il fondo sembra che le mucche mangiando il fieno prodotto in quelle marcite morissero intossicate. Sono stati quasi 200 anni di abbandono di un territorio che forse non interessava più a quella società che lo doveva gestire. Arrivato ad un forte degrado ambientale, sociale, paesaggistico e aggiungiamo anche culturale si è ripartito proprio dalle acque e dalla loro depurazione. Nel 2005 viene inaugurato il Depuratore di Nosedo e oggi si può affermare che le acque vengono restituite pulite ed 'stirate', come usa definirle il direttore dell'impianto. La potenzialità energetica del Depuratore è enorme e la sua capacità di diventare un volano per tutta la Valle è un processo in atto, ormai indiscutibile.

Sono state proprio le associazioni che operano da lungo tempo sul territorio a stimolare una collaborazione tra i diversi soggetti potenzialmente interessati a capire l'importanza che gli ambiti della ricerca, del terzo settore, della didattica, della fruizione, della cultura lavorino tutti 'insieme', lasciando da parte le convenzioni che spingono in compartimenti stagni ogni ambito della società. Diventa obiettivo principale la 'contaminazione' di saperi, delle conoscenze e degli interessi virtuosi. L'*hardware*, in questo caso specifico, è il Parco della Vettabbia; il *software*: il Depuratore di Nosedo, l'Abbazia e il Borgo di Chiaravalle, la Corte San Giacomo (Ass. Nocetum), il Centro di ricerca (RSE), l'Università (Università Cattolica, Politecnico di Milano, Milano Bicocca, Orto Botanico, Università di Pavia), le associazioni locali quali Greem, CISE 2007 e di recente

costituzione Associazione Cascine Milano e altre a scala nazionale come Italia Nostra che da anni lavorano per far rispettare l'articolo 9 della costituzione italiana.

Se da una parte il Progetto 'Insieme' vuole dimostrare che anime ed interessi diversi possano lavorare insieme per far rinascere la Valle dei Monaci; da un'altra il filo conduttore che guiderà tutte le azioni è quello legato all'energia, un tema strategico della nostra società. Il progetto vuole sperimentare interventi energetici ed ambientali innovativi e sostenibili, esportabili ad altre situazioni territoriali e supportati dal consenso dei cittadini tramite una intensa attività didattica che veda coinvolte tutte le fasce di età.

La fiducia e il sostegno economico di Fondazione Cariplo è stato cruciale perchè il Progetto 'Insieme' potesse partire nel ottobre 2012 e che finora continui a lavorare sugli ambiziosi obiettivi posti già nel lontano 2010



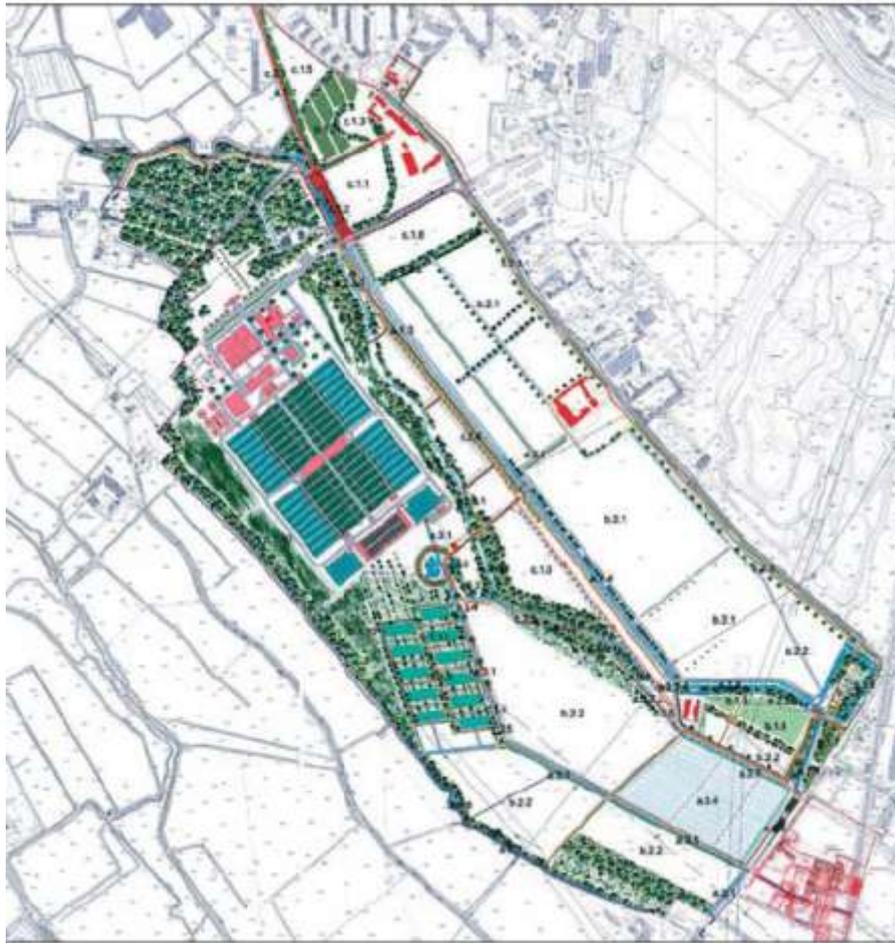
Cartografia storica – IGM anni '60

davanti all'Abbazia di Chiaravalle). Le marcite hanno avuto un ruolo determinante per la fitodepurazione dell'acque della città. Come oggi, l'acque arrivavano sporche e 'grasse' dalla città e i prati marcitoidi, quali vere e proprie palludi artificiali, le depuravano.



Vista da sud verso Nord del Depuratore di Nosedo in primo piano. In fondo la città di Milano

Oggi, il compito di depurazione dell'acque è affidato al Depuratore di Nosedo inaugurato nel 2005, dopo quasi trent'anni di attesa. Il depuratore di Nosedo è il primo e più grande impianto di trattamento di acque reflue della città di Milano e uno dei più grandi di Europa, con una capacità di trattamento equivalente per 1.250.000 abitanti e una portata a medio regime di 5mc/s. Il Depuratore sorge all'interno del Parco Regionale di Cintura Metropolitana Parco Agricolo Sud Milano nei pressi della via San Dionigi in località Nosedo a Milano, ad un paio di chilometri a nord dell'Abbazia di Chiaravalle in uno degli ambiti agricoli più pregiati a Sud della città Milano. Il consumo di 16 ettari di suolo agricolo dovuto all'impianto è stato compensato con la realizzazione di un parco di circa 35 ettari intorno all'impianto che si spinge verso sud fino all'Abbazia lungo il corso della Vettabbia. Sono state previste anche opere di mitigazione ambientalmente realizzate all'interno dell'impianto è ormai concluse.



Planimetria progetto Parco Valle della Vettabbia

La progettazione del parco è stata affidata al prof. arch. Marco Prusicki che ha immaginato il Parco della Vettabbia come un parco tematico legato soprattutto alla rigenerazione delle acque, vere protagoniste dell'identità storica e attuale di questo territorio. Il progetto non è stato pensato come una semplice risposta tecnica all'esigenze di mitigazione degli impatti negativi dell'impianto di depurazione, ma ben sì come una fondamentale risorsa capace di innescare e diffondere nuovamente un efficace processo di riqualificazione ambientale e paesaggistica dell'intera valle proprio dal centro originario. Il progetto aveva i seguenti obiettivi:

- 1) considerare il polo depurativo come elemento fondamentale per la rigenerazione del sistema vallivo di bonifica,
- 2) riconoscere e riconfigurare la valle fluviale della Vettabbia/Seveso,

- 3) riesprimere la centralità dell'Abbazia e del borgo di Chiaravalle, rendendole riconoscibili, per quanto possibile, le antiche relazioni con il territorio,
- 4) recuperare le acque depurate per uso irriguo, produttivo e paesaggistico,
- 5) riorganizzare l'attività agricola nell'area con valenza ambientale,
- 6) favorire il riassetto ecosistemico-multifunzionale dell'intero ambito,
- 7) proporre una molteplicità di funzioni per il recupero del patrimonio dell'edilizia rurale interno all'ambito di intervento,
- 8) strutturare un luogo fondamentale del sistema fruitivo, didattico e culturale del Parco Agricolo Sud Milano

Il Progetto 'Insieme' si è proposto proprio come una possibile risposta all'ultimo obiettivo del progetto del Parco della Valle della Vettabbia: *'...strutturare un luogo fondamentale del sistema fruitivo, didattico e culturale del Parco Agricolo Sud Milano'*. Idealmente il Progetto 'Insieme' ha voluto che realtà di natura molto diversa come: la ricerca, il terzo settore, la didattica e l'educazione, la promozione della cultura dei luoghi e per i luoghi lavorassero insieme per attivare un territorio come quello della Valle della Vettabbia o come è stato anche chiamato successivamente: la Valle dei Monaci. I motori di avviamento del progetto: il *Depuratore di Nosedo* quale impianto in chiave moderna della rigenerazione dell'acque insieme a *RSE - Ricerca per il Sistema Energetico* come soci co-finanziatori e coordinamento dei diversi contributi specialistici affidati a diversi gruppi di ricerca, *l'Abbazia di Chiaravalle* quale contenitore della memoria storica e culturale del luogo, *l'Associazione Nocetum* come catalizzatore dei bisogni del tessuto sociale e diffusore della conoscenza. Queste realtà sono collegate fisicamente dalle aree a parco e dal lavoro che per decenni svolgono le associazioni locali quali *Greem* e *Cise2007* e da recente *l'Associazione Cascine Milano* e quelle nazionali quale *Italianostra*.

Facciamo proprie le parole dell'arch. Cesare Salvetat che come delegato dell'Ufficio del Commissario per la depurazione sosteneva: *'...volutamente il progetto ha una marcata connotazione ecosistemica, si è inteso infatti configurare la costruzione di un vero e proprio primo laboratorio paesistico ed ambientale per la rinascita dell'intera Valle, dove sperimentare e verificare compatibilità e sinergie tra condizioni ed elementi di natura fortemente eterogenea'*.

Finora il progetto del Parco della Valle della Vettabbia ha ricevuto anche finanziamenti regionali dal progetto *"Dieci grandi foreste per la pianura"*, avviato nel 2002, per migliorare la qualità ambientale e la sostenibilità del territorio lombardo attraverso la scelta strategica di formazione di nuove foreste planiziali, quasi totalmente scomparse, con conseguente notevole impoverimento di biodiversità e di qualità del paesaggio. Inoltre il progetto è stato premiato come uno dei 10 progetti

con buone pratiche a seguito del bando “Città di Città” indetto dalla Provincia di Milano ed è stato anche premiato con il premio internazionale del paesaggio 2007 da Paysmed.net.



In fondo la torre campanaria dell'Abbazia di Chiaravalle – marzo 2014

Nell'agosto 2013 sono partiti i lavori relativi ad altri 60 ettari di parco, l'esecuzione dei lavori è stata affidata a Metropolitana Milanese. Saranno messi a dimora 30.800 nuove piante e sono previsti 4 chilometri di piste ciclabili che si collegheranno con l'asse di mobilità lenta Lodi e Chiaravalle. Sono previste nuove aree umide e la ricostruzione della marcita davanti all'Abbazia. La fine dei lavori e l'inaugurazione del parco sono previsti per l'estate 2015 in concomitanza del Expo.

1. ANALISI DELLE UTENZE E DELLE RISORSE ENERGETICHE

1.1 *Analisi delle utenze presenti: private, pubbliche e industriali*

Nella periferia sud-est di Milano, tra la zona Corvetto e il borgo di Chiaravalle, si estende un territorio agricolo ricco di notevoli valori paesistici e culturali che può considerarsi una delle aree più pregiate del Parco Agricolo Sud Milano. Solcato da una rete di canali e rogge, ha legato la sua storia al lavoro di bonifica dei monaci cistercensi, una comunità dei quali risiede tuttora nell'Abbazia di Chiaravalle. L'Abbazia e il borgo di Chiaravalle costituiscono in quest'area una presenza di indiscusso valore storico, architettonico e turistico e sono stati oggetto di recenti progetti di recupero urbanistico e tutela ambientale.

L'Abbazia di Chiaravalle è un complesso monastico cistercense fondato nel 1135 e costruito a più riprese tra il 1200 e la fine del 1400 che costituisce uno dei primi esempi di gotico in Italia e conserva al suo interno notevoli affreschi del 1500 e un affresco fiammingo, da alcuni attribuito a Hieronymus Bosch.



Fig. 1.1.a In primo piano l'Abbazia di Chiaravalle, il depuratore, la città di Milano, in fondo la catena alpina

Nel 2004 sono stati avviati i restauri della cappella di San Bernardo – situata alla sinistra dell'ingresso - degli edifici del monastero, della foresteria e del mulino. Nel marzo 2009 il restauro del mulino è stato completato e, nel 2011, è stato concluso il restauro della Cappella di San Bernardo. È presente un piccolo negozio - dove si vendono uova e pollame allevato dai monaci dell'Abbazia, miele, conserve, liquori e prodotti di erboristeria della rete delle abbazie italiane oltre a pubblicazioni storiche e artistiche su Chiaravalle.

La comunità monastica di Chiaravalle conta attualmente una ventina di monaci, guidati dal priore padre Stefano Zanolini. L'abbazia svolge importanti servizi rivolti ai cittadini di Chiaravalle ed inoltre ne è la parrocchia che, animata da don Antonio Anastasi, ne gestisce l'oratorio. Intorno ad essa ruotano diverse attività di tipo culturale, sociale, ricreativo, oltre che, ovviamente, spirituale. Con il completamento dei lavori di restauro del Molino, a cura della Provincia di Milano - Ente Gestore del Parco Agricolo Sud Milano, la comunità monastica di Chiaravalle ha affidato alla cooperativa sociale Koinè la gestione di progetti educativi e culturali volti alla valorizzazione del luogo, coordinandosi con il Parco Agricolo Sud Milano, le cui finalità sono volte alla conoscenza dei luoghi e della storia dell'abbazia nonché delle relazioni tra la comunità monastica e il territorio, realizzate tramite visite storiche, laboratori specifici di erboristeria e conoscenza dei temi agricoli quali l'antica pratica della marcita.

Il borgo di Chiaravalle è abitato attualmente da una comunità di circa 1300 persone. Fa parte del territorio comunale di Milano dal 1923, ma i residenti lamentano di avere perso la propria identità di borgo senza essere diventati parte di Milano. Non sono collegati alla città perché i trasporti pubblici sono insufficienti e nello stesso ne sono dipendenti perché mancano servizi fondamentali in loco. Dal 2006 è presente l'Associazione Borgo di Chiaravalle che ha come scopo la salvaguardia e la valorizzazione del borgo, dell'Abbazia e del territorio circostante promuovendo iniziative di aggregazione.

Nel 2005 è stato approvato il progetto esecutivo del Parco agricolo della Vettabbia, nato a mitigazione e compensazione ambientale del depuratore di Nosedo, che è una presenza di notevole impatto in quest'area. Dopo l'avvio e la realizzazione della prima parte del Parco, l'estensione è stata a lungo bloccata. Sono stati riavviati i lavori di completamento del parco a cura del Comune di Milano per la realizzazione di un prato sperimentale a marcita nei dintorni dell'Abbazia di Chiaravalle, un frutteto antico vicino a Cascina San Bernardo, la piantumazione di un bosco nei pressi del Depuratore di Nosedo e una zona di depurazione fitosanitaria delle acque del depuratore.

Nel 2013 il Comune di Milano ha avviato inoltre i lavori per il completamento della pista ciclopedonale che da centro città condurrà fino all'Abbazia di Chiaravalle. Nell'area agricola del Parco della Vettabbia si trovano cinque cascine di proprietà comunale. Tra di esse due sono in buono stato di conservazione perché sottoposte a ripetuti interventi di recupero e manutenzione ad opera degli occupanti: la Cascina Corte San Giacomo, sede dell'associazione Nocetum e la Cascina Grande Chiaravalle, abitata dalla famiglia Miglio che coltiva i terreni di pertinenza della cascina stessa e alcuni terreni di pertinenza della Cascina San Bernardo. Le altre tre cascine

pubbliche – la Nosedo, la San Bernardo la Cascina Vaiano Valle– sono invece, in diversa misura degradate, disabitate o occupate abusivamente. Nell'ottobre 2012 nell'ambito dell'avviso di manifestazione d'interesse per la raccolta di idee di riutilizzo, emesso dal Comune di Milano, che ha coinvolto 16 cascine di proprietà pubblica sono state inserite Cascina San Bernardo e Cascina Vaiano Valle.

Nell'area, inoltre, si trovano anche alcune cascine di proprietà privata, gran parte di esse - alcune situate in aree di particolare pregio urbanistico, nei pressi del borgo di Chiaravalle - sono in notevole stato di degrado e occupate abusivamente.

Corte San Giacomo - Associazione Nocetum

La Cascina Corte San Giacomo fa parte dell'antico borgo medievale di Nocetum, sorto nel 1200 come grangia di Chiaravalle, insieme alla vicina chiesetta dei Santi Filippo e Giacomo. La chiesetta, che conserva all'interno affreschi risalenti al 1350, venne concessa nel 1988 a Suor Ancilla Beretta, per gli incontri di preghiera di una piccola comunità. Nel 1998 Suor Ancilla fonda con Gloria Mari l'Associazione Nocetum che ha come fine la bonifica e la salvaguardia del patrimonio storico-artistico di Nosedo e la creazione di un centro di accoglienza nella cascina annessa alla chiesetta. Nel 2010, per rispondere in modo più strutturato ai bisogni delle persone in difficoltà, viene costituita la cooperativa sociale Nocetum.



Fig 1.1.b Vista Cascina Corte San Giacomo e Chiesetta dei Santi Filippo e Giacomo da via san Dionigi

Attualmente, dopo diversi interventi di risanamento realizzati dall'associazione, la cascina ospita una comunità di accoglienza per donne sole con bambini e famiglie monoparentali e comprende l'abitazione di Suor Ancilla Beretta e Gloria Mari. Nocetum svolge oggi un'importante funzione di "presidio sociale" in un territorio che ha molte criticità. Dal 2001 offre servizi di assistenza e supporto all'inserimento sociale alle famiglie di rumeni di etnia rom che abitano nelle baraccopoli che sorgono, vengono sgombrate e rinascono nella valle della Vettabbia. In un padiglione appositamente costruito, nell'orto didattico e nel cortile della cascina Nocetum promuove, inoltre, diverse attività culturali e sociali, aperte al quartiere e alla città, in collaborazione con la rete di associazioni a cui essa è collegata. Per il ruolo che svolge nella cura del territorio e dell'ambiente, Nocetum è "punto e porta del parco" per il Parco Agricolo Sud Milano. Grazie ad un finanziamento di Fondazione Telecom Italia, nell'anno 2013 sono stati avviati i lavori di restauro della chiesetta di Santi Filippo e Giacomo che hanno inaspettatamente portato alla luce un sepolcreto medievale nonché importante materiale di origine romana: cocci, alcuni dei quali smaltati, pietre e una moneta risalente al periodo tra il 340 e il 343 Dc.

Nocetum è in un'area complessa disegnata da un intreccio di acqua, agricoltura e paesaggio, natura e abitato, a cui si affiancano, nella Valle dei Monaci, percorsi storici di grande prestigio oltre ad elementi di trasformazione del territorio come impianti tecnologici (Impianto di depurazione delle acque reflue di Nosedo) ed attrezzature funzionali al centro urbano (Parco della Vettabbia). Quest'area del Parco Agricolo Sud Milano presenta dunque un insieme di caratteri diversi ed esprime tutte le potenzialità di un vero e proprio "laboratorio didattico" diffuso sul territorio consentendo di approfondire le relazioni esistenti tra uomo e ambiente, spesso ancora recepiti come elementi distinti.



Fig 1.1.c Vista Cascina Corte San Giacomo dalla via Omero

A partire dal forte impulso che ha dato il progetto “Nocetum: una risorsa viva in città. L’antica Valle dei Monaci torna a vivere per Milano”, la Valle dei Monaci, con la sua rete di soggetti e collaborazioni (Istituzioni e Università, Regione, Provincia e Comune di Milano, Parco Agricolo Sud Milano e Associazioni presenti sul territorio), ha puntato a fare rivivere il territorio esplicitandone appieno tutte le potenzialità: da un lato rinsaldando il legame con l’ambito rurale circostante a beneficio di scuole e gruppi, dall’altro, quale luogo di conservazione e utilizzo di beni primari per la città e per i cittadini, tra cui sono oggi riconoscibili e sempre più necessari la crescita culturale e sociale, la qualità alimentare e ambientale.

Nocetum, costituita Porta del Parco Agricolo Sud Milano, occupa una posizione strategica tra città densa e ambito urbano rurale. A far tempo dal 2001, il Parco Agricolo Sud Milano al fine di erogare ai cittadini servizi di informazione e divulgazione su temi di interesse del Parco stesso, ha attivato convenzioni con associazioni, cooperative sociali e aziende agricole ossia strutture già esistenti sul territorio e dove venivano già svolte iniziative in linea con la finalità fruitiva del Parco, a cui veniva conferito il titolo di “Punto Parco”: il Punto Parco Nocetum viene inaugurato nel 2007.

Nocetum ha lanciato l’idea della Valle dei Monaci, per valorizzazione il grande patrimonio artistico e culturale italiano, soprattutto a quell’arte invisibile che, con opportuni interventi di valorizzazione, nuove modalità di fruizione e con il ricorso alle tecnologie digitali, è diventato un elemento di integrazione con la comunità locale, di attrattiva per l’economia e il turismo, di educazione alla cittadinanza.

In tale occasione e in perfetta sintonia con il tema portante di Expo 2015, “Nutrire il pianeta, energia per la vita”, è stata perseguita da Nocetum la naturale evoluzione dell'Antica Grangia in moderna *City Farm* di Milano, che permetterà di ampliare la vocazione che già oggi Nocetum esercita, cioè quell'azione di sensibilizzazione culturale ed educativa che annualmente attua mediante studi e ricerche volti alla salvaguardia e alla valorizzazione dell'ambiente, progetti di sviluppo territoriale, organizzazione di feste, incontri, visite guidate e proposte per le scuole.

City Farm sta letteralmente per "fattorie urbane" ma il significato di questo nome è più complesso e rappresenta luoghi rurali gestiti da enti o associazioni dove si sperimentano forme di vita conviviale, progetti educativi, stili di vita, ricerca di tecnologie alternative, in rapporto alla natura e agli animali ospiti.

Proprio come Nocetum, le *City Farm* sono delle strutture situate in ambito urbano o periurbano che hanno l'obiettivo di far scoprire il legame che unisce mondo rurale e urbano.



Fig 1.1.d *City Farm* all'interno della cascina Corte San Giacomo

A questo fine, partendo dall'Area Sperimentale Didattica “Informare Comunicare Formare” (vedi paragrafo 3.1) già dotata di una serra-laboratorio e di un orto didattico, è stata fatta la scelta di introdurre antiche varietà ortofrutticole e cerealicole oggi quasi scomparse e sconosciute ai più a causa delle loro difficoltà produttive o del loro scarso valore commerciale, che ci permetterà di far rivivere una realtà estranea: siamo profondamente convinti dell'importanza di trasmettere cultura rurale del nostro passato alle nuove generazioni.

Così come l'allestimento del piccolo allevamento avicolo, l'apicoltura e l'introduzione di nuove specie zootecniche hanno lo scopo di sviluppare il diretto contatto degli animali di corte in città, con particolare riferimento all'avvicinamento dei bambini agli animali della fattoria e attenzione alla fruizione nella prima età scolare. A Nocetum le nuove generazioni possono spaziare nelle conoscenze, dallo scoprire la vita delle api, all'imparare le tecniche di compostaggio, allo sperimentare e assistere a dimostrazioni di produzione di energia alternativa. Sappiamo che per chi vive in un ambiente urbanizzato diventa indispensabile compiere esperienze legate alla natura e ai suoi aspetti dinamici, ciclici ed interattivi.

Ma anche per la famiglia, raggiungere un contesto che permette il contatto con organismi viventi e fenomeni naturali attiva la sensorialità e affina le capacità percettive, promuove interazioni positive e determina sensazioni di benessere. Nocetum può contare su un bacino di utenza relativamente ai flussi così stimato:

- 5000 presenze/anno di utenti specializzati (operatori economici, ricercatori, operatori sociali e altro);
- 2000 presenze/anno di utenti provenienti dalle scuole (visite scolastiche, laboratori didattici);
- 10.000 presenze /anno di utenti non specializzati (turisti, pellegrini).

Cascina Grande Chiaravalle – Via San Dionigi 120

La Cascina Grande di Chiaravalle è sede dell'azienda agricola della famiglia Miglio che ne coltiva i terreni di pertinenza – oltre ad alcuni dei terreni di pertinenza della Cascina San Bernardo – a prato. In seguito alla conferma di contratto da parte del Comune di Milano i Miglio si sono impegnati nei lavori di ristrutturazione e di restauro conservativo delle ex stalle e nell'opera di rifacimento di gran parte delle coperture dell'azienda e degli intonaci esterni, i lavori sono stati completati rispettando le direttive imposte dalla Soprintendenza per i beni architettonici e del paesaggio di Milano. Le attività della Cascina Grande di Chiaravalle sono molteplici infatti, oltre all'agricoltura, la Famiglia Miglio ha avviato nella primavera del 2013 l'attività di ippoturismo e la scuola di equitazione, riconosciuta dalla FISE (Federazione Italiana Sportiva di Equitazione).

Inoltre, sempre nella primavera 2013, la multifunzionalità verrà integrata con l'introduzione dell'azienda agricola come punto per le fattorie didattiche, verranno organizzati grest estivi rivolgendo maggiore attenzione al coinvolgimento dei bambini e dei giovani che si vogliono

avvicinare non solo al mondo del cavallo ma anche alla conoscenza delle tradizioni della vita contadina ed alle nuove metodologie lavorative agricole.



Fig 1.1.e Cascina Corte Grande sulla sinistra il Depuratore di Nosedo

Cascina Nosedo – Via San Dionigi 78

Il complesso cascinale di Nosedo, situato all'inizio di via San Dionigi, sul lato opposto della strada rispetto alla Cascina Corte San Giacomo (Nocetum), occupa un'ampia area ed è composto da diversi edifici: tre edifici residenziali di cui uno all'ingresso e altri due lungo la via san Dionigi e un corpo centrale destinato a stalla e fienile. La cascina, occupata senza titolo, è utilizzata come residenza e per l'allevamento di bovini. Tale situazione di illegalità è nota da tempo alla Sezione Problemi del territorio della Polizia Municipale.



Fig 1.1.f Cascina Nosedo

Cascina San Bernardo – Via Sant'Arialdo 133

La Cascina San Bernardo è situata al centro del Parco della Vettabbia, immersa nel paesaggio agricolo del Parco Sud, tra campi coltivati, canali e rogge. Si raggiunge con una strada sterrata tra i campi, che parte dall'Abbazia di Chiaravalle. I due corpi paralleli che costituiscono la cascina sono inutilizzati.



Fig 1.1.g Cascina San Bernardo

Alcuni dei terreni di pertinenza sono coltivati dal sig. Miglio che abita nella vicina Cascina Grande Chiaravalle. Nell'anno 2011 il Comune di Milano ha lanciato un bando per la concessione di diritto di superficie a tempo determinato della cascina che, però, non è stata assegnata. L'immobile è stato uno dei sedici coinvolti nell'indagine esplorativa finalizzata all'acquisizione di manifestazione d'interesse contenenti ipotesi di soluzioni tecnico gestionali proposto dall'Amministrazione per le cascine di proprietà pubblica che ha avuto luogo tra ottobre 2012 e gennaio 2013. Nel Novembre 2013 è stato emesso il bando per la concessione del bene con diritto di superficie.



Fig 1.1.h In primo piano cascina San Bernardo, sulla destra l'ultima marcita. In fondo l'abbazia di Chiaravalle

Cascina Vaiano Valle – Via Vaiano Valle 45

La Cascina Vaiano Valle è l'unica proprietà pubblica nel gruppo di cascine che si affacciano sulla via omonima. La cascina è di piccole dimensioni ed è situata sul confine nord del Parco della Vettabbia. E' costituita da un unico corpo a forma di elle, in cui si susseguono residenza, fienile e ricovero attrezzature. Attualmente è disabitata ed è in condizioni di fortissimo degrado.

L'immobile è stato uno dei sedici coinvolti nell'indagine esplorativa finalizzata all'acquisizione di manifestazione d'interesse contenenti ipotesi di soluzioni tecnico gestionali proposto dall'Amministrazione per le cascine di proprietà pubblica che ha avuto luogo tra ottobre 2012 e gennaio 2013.



Fig 1.1.i Cascina Vaiano Valle

1.1.1 Progetti di rete

Il territorio compreso tra Corvetto e l'Abbazia di Chiaravalle è ricco di reti formate da soggetti molto attivi nella promozione della partecipazione civica, dell'integrazione sociale, della salvaguardia e della valorizzazione del patrimonio architettonico, culturale e ambientale.

Le reti si sono sviluppate, negli anni, con come fulcro due luoghi fisici ben definiti: cascina Corte San Giacomo, con l'Associazione Nocetum e Chiaravalle con l'abbazia; col tempo queste due ndi della rete si sono integrate sempre più costruendo progetti comuni volti alla valorizzazione del territorio nel suo insieme.

Tra i progetti più significativi realizzati dalla rete del territorio e attuati nell'ultimo periodo ricordiamo:

Arcipelago Mazzini – progetto di coesione sociale e territoriale in zona 4 con particolare riferimento al quartiere Corvetto e al quartiere Mazzini. Il progetto si è dedicato a quattro macro obiettivi: Favorire la fiducia e la rigenerazione dei legami sociali, promuovere la partecipazione attiva e la gestione costruttiva dei conflitti sociali, Promuovere percorsi di integrazione scolastica e lavorativa e di integrazione scolastica e lavorativa. Partner: coop.soc.La Strada, Comune di Milano, Università Cattolica del Sacro Cuore, Altis, Ce.se.d., Auser Milano, coop.soc.Limes, Arci Milano, Ce.A.S., Dedo, Martinengo - Anno 2006/2008

Vicini d'Europa – progetto europeo Interreg IIIC che ha coinvolto Belfast, Milano, Lione e Bruxelles. Il Parco della Vettabbia e il Villaggio Barona sono state le zone individuate per sviluppare un progetto che favorisse la convivenza fra comunità e promuovesse pratiche e culture nella costruzione dello spazio pubblico urbano per attivare comunità locali per favorire nuove forme di socialità e abitabilità dei quartieri e di incontro ed integrazione con soggetti svantaggiati. Parner

per il Parco della Vettabbia: Associazione Nocetum, Associazione Borgo di Chiaravalle e Milanodepur SpA. - Anno 2006/2007

Progetto MAIS - realizzato dalla Fondazione Enrico Mattei in partnership con l'Associazione Memoria & Progetto, in collaborazione con BIC La Fucina e l'Associazione Nocetum, con il contributo di Fondazione CARIPOLO. Per promuovere comportamenti responsabili volti allo sviluppo sostenibile della filiera agroalimentare locale. In particolare il progetto si propone di mettere in rete i soggetti del territorio - settore agroalimentare, cittadinanza, società civile, istituzioni locali - e di fornire loro strumenti per contribuire attivamente ad uno sviluppo sostenibile della filiera agroalimentare locale. In questo contesto, presso l'Associazione Nocetum è stata ricavata un'area all'interno della quale trovano collocazione un orto urbano sperimentale - la cui progettazione, realizzazione e gestione sono state affidate alla Associazione Greem, anch'essa coinvolta nel progetto -, una serra - che a breve entrerà a far parte della sperimentazione - ed alcune arnie destinate alla diffusione didattica dei comportamenti degli imenotteri - Anno 2009/2010

Nocetum: una risorsa viva in città. L'antica valle dei monaci torna a vivere per Milano - progetto con come capofila l'Associazione Nocetum ha come conclusione Giugno 2013 e ha portato alla realizzazione di un volume di ricerca storicoscientifica relativa alla valle dei monaci,

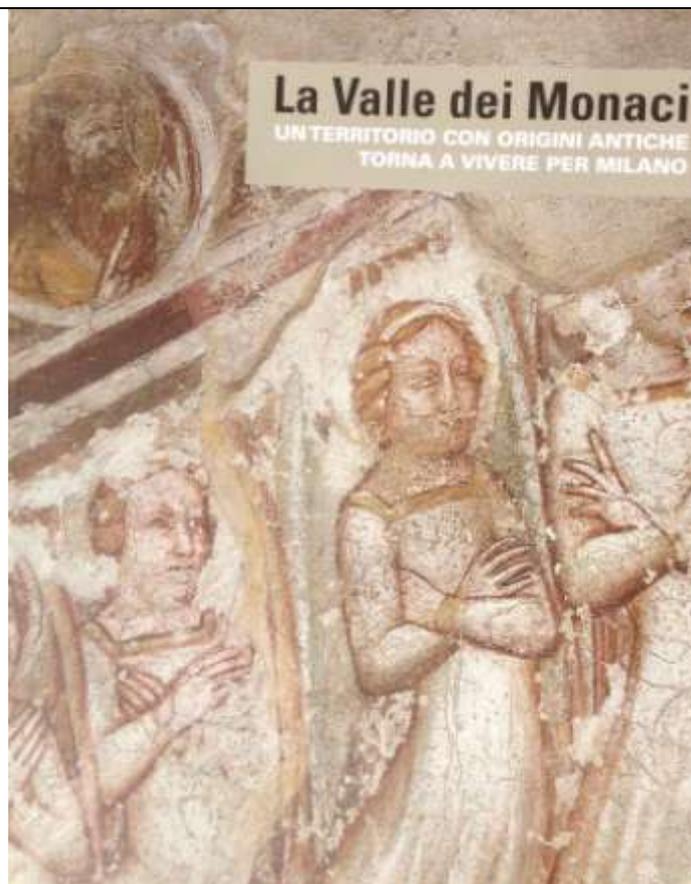


Fig 1.1.1.a Copertina del volume 'La Valle dei Monaci: un territorio con origini antiche torna a vivere per Milano' a cura di Maria Canella ed Elena Piccinelli – Nexo 2012

al restauro ed alla valorizzazione della chiesa di S Filippo e Giacomo, alla creazione di una *City farm* presso Cascina Corte San Giacomo, alla stesura di una guida ai percorsi di ciclopeditoni della zona e all'ideazione di un logo e di linee guida di comunicazione comuni per la promozione e lo sviluppo del territorio.



Il progetto, ormai concluso, ha rivelato un potenziale molto più grande del previsto: la rete dei soggetti coinvolti infatti – che vanno dal quartiere Corvetto fino al Comune di Melegnano e comprendono soggetti pubblici, privati ed istituzioni – intendono proseguire con il lavoro di valorizzazione e promozione territoriale cercando nuove modalità e finanziamenti. Anno 2011/2013

1.2 Analisi delle utenze prevedibili e potenziali in relazione alle cascine presenti

Visto il notevole sviluppo dell'area sia da un punto di vista strutturale che progettuale si può prevedere un notevole incremento di frequentazione e fruizione territoriale. Sicuramente, una maggiore fruizione territoriale è dovuta alla realizzazione della nuova pista ciclopeditonale che collega il centro città con l'Abbazia di Chiaravalle e alla realizzazione di guide e cartellonistiche specifiche del percorso. Inoltre, l'ampliamento del Parco della Vettabbia e il miglioramento delle aree già attive richiameranno i cittadini in quello che diventerà il parco più esteso della città di Milano.



Fig 1.2.a Fotomontaggio Parco della Vettabbia. In primo piano ricostruzione della marcita

Si ricorda che il progetto Rurbance (Rural Urban Governance), finanziato dall'Unione Europea, ha individuato all'interno del percorso di promozione di Milano Metropoli Rurale che coinvolge Regione Lombardia, Provincia e Comune di Milano, Consorzio DAM, l'ambito vallivo della Vettabbia quale area pilota del progetto.

Nello specifico, per quanto riguarda le cascine pubbliche:

Cascina San Bernardo

A breve si conoscerà l'assegnatario del bando di concessione di Cascina San Bernardo che, in base al progetto, sicuramente richiamerà vita e cittadini in relazione alle attività che verranno sviluppate.

Cascina Corte San Giacomo – Associazione Nocetum

Il Centro Nocetum continua nella sua opera di valorizzazione e promozione territoriale, grazie a progetti che già sono in campo e che sono in via di realizzazione, si avrà un notevole incremento della fruizione del luogo e di rilancio all'intero territorio della Valle dei Monaci. Grazie ai molti eventi messi in campo dall'Associazione Nocetum il target si sta sempre più allargando e va dai soggetti deboli del territorio a cui sono rivolte sia iniziative che servizi a cittadini milanesi di fasce sociali medio-alte.

Cascina Grande di Chiaravalle

L'azienda agricola Miglio, oltre a mantenere la propria attività agricola si sta dedicando all'allevamento ed alla cura dei cavalli. Vengono tenuti corsi a livello agonistico di dressage e, attualmente, non sembra esserci l'interesse di allargare ulteriormente la fruizione della cascina se non per piccole e sporadiche iniziative.

Cascina Vaiano Valle

Attualmente occupata, non si prevedono sviluppi a breve-medio periodo.

Alcune cascine private con progetti di rilevanza:

Casa Chiaravalle

Situata in prossimità dell'Abbazia di Chiaravalle, la cascina confiscata alla criminalità organizzata, è stata recentemente assegnata ad una cordata di soggetti del no-profit (Sistema Imprese Sociali – SIS (capofila), Arci Milano, Chico Mendes scs e La Strada scs.). Dopo i lavori di ristrutturazione e messa a norma la cascina potrà ospitare nuclei familiari senza casa ed il terreno tornerà ad essere coltivato con l'inserimento lavorativo di persone con disabilità e adulti in difficoltà.



Fig 1.2.b Casa Chiaravalle

Nel frattempo, per diventare subito luogo aperto alla cittadinanza, ospiterà attività e eventi tra cui la visite di scolaresche milanesi e di altre città d'Italia impegnate in programmi studio del fenomeno mafioso e del ripristino della legalità. La Cascina, in vista di Expo 2015, ospiterà una piccola foresteria e ostello della gioventù.

Cascina Gerola

Su questo bene, attualmente occupato in maniera abusiva, è in corso un processo per la riqualificazione al fine di creare un co-housing. L'azienda che se ne sta occupando, incaricata direttamente dal proprietario della cascina, è in fase di avanzata interlocuzione con l'amministrazione pubblica per lo sgombero e, parallelamente, sta già procedendo con la fase di progettazione partecipata con i futuri inquilini per definire insieme gli spazi ed i servizi che prenderanno forma all'interno della struttura.

Consiglio di Zona 4

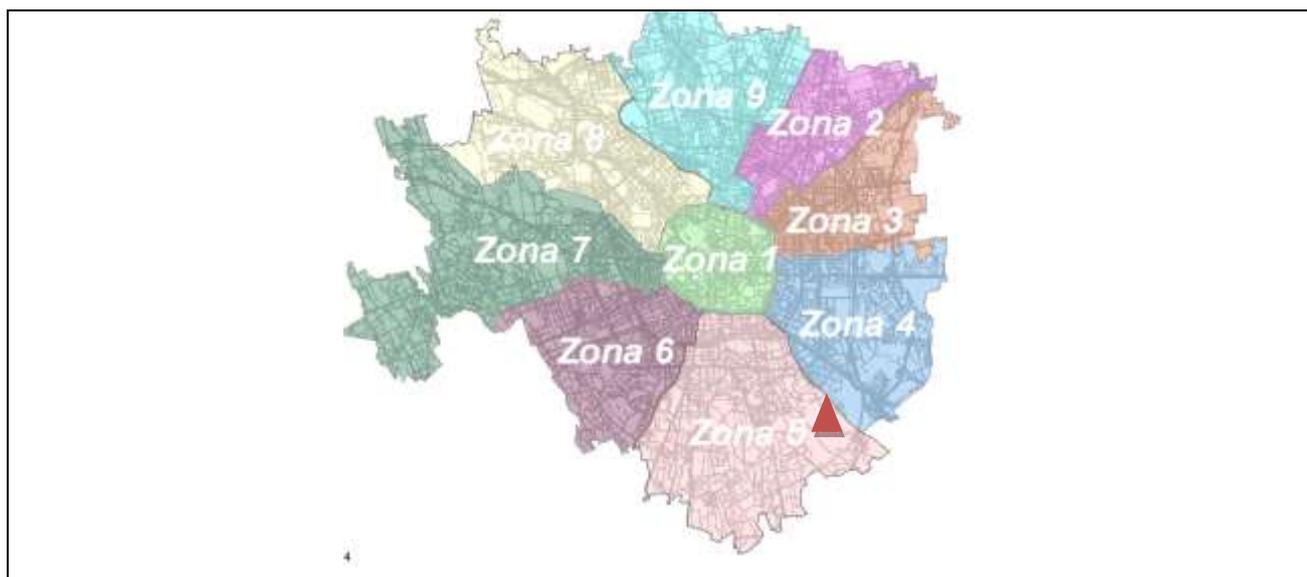


Fig 1.2.c I Consigli di Zona della Città di Milano

Il Parco della Vettabbia e la Valle dei Monaci sono collocati al confine tra la zona 4 e 5 del Comune di Milano. Il Consiglio di Zona 4 in particolare, ha già da diversi anni un rapporto preferenziale di stima con le associazioni del territorio coinvolte nel progetto, tra cui GREEM e CISE 2007, con le quali ha condotto progetti di successo nella stessa Zona 4, su altre realtà limitrofe, quali il Parco Forlanini, Parco Alessandrini, Laghetto delle Vergini all'Idroscalo ecc.

A seguito dei positivi progressi, l'amministrazione comunale è sempre presente e partecipa delle nuove iniziative promosse, tra cui sono ora in rilievo quelle del progetto "Insieme".

Comunità monastica di Chiaravalle

Composta da una ventina di monaci cistercensi vivono e animano spiritualmente l'Abbazia di Chiaravalle.

Cooperativa sociale Koinè

Dal 2009 gestisce le attività didattico-educative presso il Molino di Chiaravalle

Associazione Art9

Associazione milanese di professionisti nata con lo scopo di creare sinergie mirate alla valorizzazione, cura e conservazione dei beni culturali. Le attività si fondano sulla conoscenza diretta ed approfondita della storia e della materia e si articolano in iniziative diverse, laboratori, visite guidate, aperture straordinarie, concerti, con obiettivo la diffusione della consapevolezza del valore e la partecipazione attiva alla conservazione del patrimonio artistico.

Associazione Borgo di Chiaravalle

Creata nel 2006 ha come scopo la salvaguardia e la valorizzazione del borgo di Chiaravalle, dell'Abbazia e del territorio circostante e promuove iniziative di carattere culturale, sociale e solidale con il coinvolgimento attivo dei cittadini.

Azienda agricola Miglio

Agricoltori affittuari del Comune di Milano nella Cascina Grande di Chiaravalle, si dedicano ad agricoltura e ippica.

Milano Depur

Società concessionaria per la gestione del depuratore di Milano in località Nosedo e del Parco della Vettabbia. Collabora attivamente con le associazioni locali nell'organizzazione di visite, dibattiti ed eventi per la promozione del Parco.

Associazione Nocetum

Fondata nel 1998 da allora si è impegnata a far rivivere l'antico borgo – che si trovava in quegli anni in stato di forte degrado – anche ristrutturando completamente gli immobili e recuperando l'area verde. Da diversi anni ormai, in rete con enti, istituzioni, associazioni presenti sul territorio, realizza progetti che coniugano i temi del sociale – in particolare dell'integrazione e della lotta all'emarginazione – con quelli della sostenibilità ambientale, dell'attività agricola e della promozione del territorio. La comunità di consacrato che ha dato vita all'associazione vive, lavora e anima spiritualmente Nocetum.

Greem – Gruppo Ecologico Est Milano

L'Associazione opera in maniera concreta e socialmente utile, si avvale di prestazioni prevalentemente volontarie da parte degli associati, persegue il fine di favorire lo sviluppo

sostenibile della società, armonizzare l'uso delle tecnologie e delle risorse con le necessità reali e non superflue dell'uomo, tutelare l'ambiente, la flora e la fauna, garantire un rapporto equilibrato tra le attività umane e la natura, promuovere e sostenere la cultura del consumo senza sprechi, l'agricoltura biologica e l'uso di prodotti naturali e biologici, educare la popolazione e particolarmente quella in età scolare, al rispetto dell'uomo, della natura e delle risorse disponibili attraverso il loro uso razionale e corretto.

L'associazione persegue inoltre lo scopo di promuovere e organizzare attività di volontariato anche attraverso la creazione di una rete di soggetti associativi e imprenditoriali, e di operare nel campo della formazione professionale al fine di favorire situazioni occupazionali rivolte soprattutto ai giovani, disoccupati e in genere alle categorie più svantaggiate.

Fin dal 1989, tramite progetti mirati e co-finanziati, è stato promotore delle attività di rete che hanno favorito la collaborazione tra associazioni, imprenditoria e istituzioni, creando le condizioni per la nascita di CISE 2007, ad esso strettamente correlato.

CISE2007 – Centro Italiano per la Sostenibilità e l'Energia

L'associazione CISE2007 è nata per volontà di amici e colleghi che hanno provato il piacere di sentirsi protagonisti della ricerca scientifica, negli anni in cui si sviluppavano i centri per la ricerca energetica milanese.

L'Associazione, persegue finalità di solidarietà sociale, promuove la cultura scientifica e la sostenibilità, in ambito energetico e ambientale, nei suoi più variegati aspetti, individua le necessità della società civile e ne identifica le modalità di risposta più corrette attraverso un dialogo rispettoso e continuo con le istituzioni, le aziende, le università, i consorzi ed i centri competenti in attività di formazione, documentazione, studi e ricerche.

Interviene nel campo della formazione professionale al fine di favorire situazioni occupazionali rivolte soprattutto ai giovani, ai disoccupati e in genere alle categorie più svantaggiate.

Tra gli obiettivi prioritari dell'associazione vi sono i seguenti due, perfettamente centrati sulle finalità de progetto "Insieme":

- la promozione e la realizzazione della progettualità "sostenibile" già avviata o in fase di avvio nell'area est milanese ed in particolare in quella che viene definita come Valle dei

Monaci, al cui interno trovano spazio l'Abbazia di Chiaravalle con il borgo limitrofo, l'antica chiesetta di Nocetum e l'impianto di depurazione acque di Nosedo.

- il recupero e la valorizzazione del patrimonio culturale e scientifico sviluppato dal CISE – Centro Informazioni Studi Esperienze e legato alla sua storia (materiale d'archivio, libri, pubblicazioni, testimonianze, immagini, video e tutto ciò che può essere necessario a ricostruirne il percorso storico, scientifico e umano).

Cooperativa sociale La Strada

La Cooperativa La Strada è stata costituita nel 1993, ereditando le attività gestite in precedenza - sin dal 1980 - dall'omonima associazione. Attualmente si occupa di servizi, attività e progetti a favore di minori, adulti e famiglie in difficoltà. Negli ultimi anni ha consolidato la propria presenza in particolare nella zona sud-est di Milano, dove ha sviluppato intensi rapporti di collaborazione servizi pubblici, organizzazioni private, realtà ecclesiali e gruppi di volontariato. Nella zona 4 Milano la cooperativa ha la propria sede centrale via G.B. Piazzetta 2 e sono presenti la maggior parte delle proprie attività e servizi.

Galdus Formazione e Ricerca Società Cooperativa

Costituita nel 1990 da un gruppo di professionisti della formazione e dell'orientamento al lavoro, organizza corsi di formazione professionale per disoccupati, diplomati e laureati.

Istituto Itsos Albe Steiner

Nato nel 1974 come Istituto Tecnico Sperimentale a Ordinamento Speciale, rappresenta un'esperienza di formazione tecnico professionale storica a Milano nell'ambito della comunicazione audiovisiva e multimediale nel quartiere Corvetto.

Nota: si ringrazia MilanoDepur SpA per le immagini delle vedute aeree fornite e per il rendering inerente l'ampliamento del Parco della Vettabbia.

1.3 Analisi preliminare delle risorse energetiche rinnovabili: antiche e avveniristiche

Nella Valle dei Monaci, al centro del Parco della Vettabbia, è collocato l'impianto di depurazione di Milano-Nosedo, quale sistema energetico di rilievo di tutta la zona. Gli studi sugli aspetti energetici sono stati centrati su questa realtà, ideale collocazione per lo sviluppo dei sistemi innovativi di celle a combustibile microbiche.

Altre attività energetiche importanti dell'area riguardano le pratiche prettamente agricole dei piccoli insediamenti urbani presenti. La coltivazione dei terreni di pertinenza offre potenzialità energetiche

sfruttabili a fini dimostrativi, che comprendono la produzione di foraggio per l'allevamento e la produzione di biogas dagli scarti agro-alimentari.

Il contributo del vento in quest'area, come in tutta la Pianura Padana è pressochè nullo. Le caratteristiche climatiche dell'area reprimono fortemente anche l'irradiazione solare, ciononostante, a differenza del vento, è possibile ipotizzare un uso dimostrativo della risorsa energetica direttamente proveniente dal sole, sia ai fini di riscaldamento (pannelli termici) sia per alimentare piccoli sistemi fotovoltaici. Entrambi questi sistemi sono stati realizzati a scopo didattico nell'ambito del progetto, come dettagliato in seguito.

1.3.1 L'impianto di depurazione

L'impianto di depurazione è ubicato nel comprensorio dominato dal sistema irriguo della roggia "Vettabbia" (località Nosedo), rappresenta la fase conclusiva di una complessa struttura di raccolta e collettamento delle acque reflue provenienti dalla zona centro orientale della Città di Milano, facente capo all'"emissario scaricatore di Nosedo" ed al collettore "Ampliamento Est".

Il depuratore ha una potenzialità di trattamento pari a 1.250.000 abitanti equivalenti (AE) e tratta quantitativi di acque reflue in tempo secco pari a circa 5 m³/s raggiungendo i 15 m³/s in tempo di pioggia.

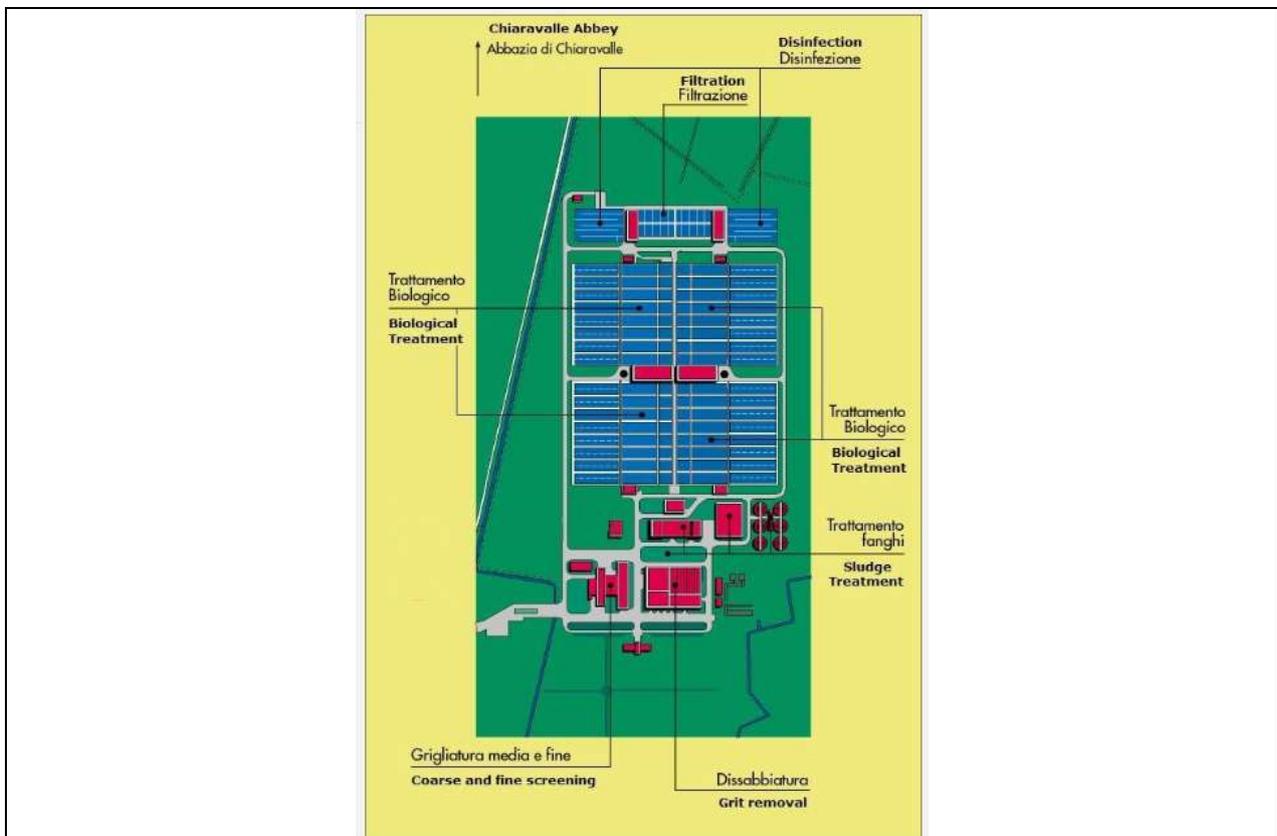


Fig 1.3.1.a Schema impianto di depurazione delle acque Milano-Nosedo

Al termine del processo, le acque depurate vengono restituite al sistema irriguo della campagna circostante. La parte a nord è invece quella dove si trova l'accesso al complesso e dove sono collocati gli edifici adibiti ai servizi e alla rappresentanza. Il comparto del depuratore di maggior interesse rispetto all'installazione delle celle a combustibile microbiche è quello biologico.

Il campo della depurazione delle acque, così come la potabilizzazione e più in generale tutto il servizio idrico integrato, è un settore molto dispendioso dal punto di vista energetico, rappresentando infatti il 2-3% di tutto il consumo elettrico nazionale, con un costo stimato di alcuni miliardi di euro annui. Questo ambito permette però ancora un notevole margine di riduzione dei consumi, tale ragionamento è valido soprattutto se si considerano gli impianti e le strutture di costruzione meno recente. In linea di massima, infatti, i nuovi impianti sono già progettati e realizzati in un'ottica di risparmio ed ottimizzazione energetica, mentre quelli più datati vengono solo oggi sottoposti ad una serie di revisioni e implementazioni per poter ottenere una riduzione dei consumi.

Il processo di depurazione delle acque

La depurazione delle acque è un processo che avviene ad opera dei microrganismi aerobici in esse presenti, capaci di degradare le sostanze organiche inquinanti. Quando nel passato ormai lontano gli scarichi fognari erano più distribuiti sul territorio, le acque, nel loro cammino verso il mare, erano in grado di ossigenarsi a sufficienza e di autodepurarsi.

Gli impianti di depurazione sono divenuti necessari con lo sviluppo industriale e l'esodo dalle campagne, che ha portato a un forte incremento della concentrazione urbana e dei problemi ad essa connessi come scarichi fognari, rifiuti, traffico, rumore, inquinamento atmosferico ecc.

Ciò che avviene all'interno di un depuratore non è altro che un processo naturale accelerato da una abbondante presenza di ossigeno, insufflato con continuità e in forma finemente suddivisa nelle vasche di ossidazione; in queste condizioni i microrganismi aerobici trovano adatto nutrimento per crescere e riprodursi in tempi molto brevi divorando le sostanze organiche presenti nell'acqua fino al punto da divenire sedimentabili e precipitare sul fondo delle vasche sotto forma di fango.

Questi fanghi, detti attivi proprio perché ricchi di microrganismi, vengono in parte inviati alle vasche di sedimentazione e in parte introdotti di nuovo nelle vasche di ossidazione per garantire la concentrazione necessaria al processo depurativo. I fanghi sedimentati vengono poi disidratati e portati a un contenuto di sostanza secca compreso tra il 20% e il 40% mediante sistemi a nastropressa o filtropressa.

Consumi energetici della depurazione e possibilità di ottimizzazione

In letteratura è possibile trovare numerose informazioni riguardo ai consumi che un impianto di depurazione deve sostenere, i quali sono legati, in prima battuta, alle condizioni geo-morfologiche del territorio: quasi tutti gli impianti di depurazione, a seconda delle caratteristiche dell'area in cui si collocano, impiegano più o meno energia per alimentare le stazioni di sollevamento e pompaggio necessarie per innalzare i reflui ad una quota adatta allo svolgimento del processo.

Considerando impianti tradizionali, il trattamento prosegue poi con fasi di separazione della sostanza solida grossolana dai reflui liquidi, cui seguono il trattamento biologico e le eventuali fasi (non sempre presenti) dette di trattamento terziario, cioè di ulteriore affinamento della qualità delle acque prima dello scarico, come ad esempio la disinfezione.

Ciascuna di queste operazioni prevede l'impiego di apparecchiature elettriche a motore, comprese pompe, soffianti, miscelatori, collettori per il fango e centrifughe. La presenza di trattamenti terziari determina un ulteriore aumento della richiesta energetica complessiva.

La risorsa energetica dei fanghi di depurazione e di altri rifiuti solidi

I fanghi di depurazione sono un prodotto energeticamente povero poiché contengono ancora un 60% almeno di acqua, tuttavia, non possono essere dispersi nell'ambiente e rientrano nelle categorie dei rifiuti speciali da smaltire. Le quantità in gioco sono rilevanti e il sistema depurativo quanto il sistema depurativo ne produce circa 45.000 tonnellate all'anno.

La conoscenza di questo problema ha indotto le associazioni del territorio (in particolare Greem e CISE2007) ad elaborare una proposta operativa per la loro valorizzazione energetica, anche in considerazioni delle altre piccole realtà di terziario che operano per la raccolta di rifiuti e residui industriali non pericolosi (pneumatici usati, pulper di cartiera, biomasse, residui plastici, gomme da guarnizioni, ecc.), con elevato potenziale energetico da recuperare sotto forma di calore o energia elettrica. Le considerazioni di carattere energetico e ambientale portano a ipotizzare una combustione mista di fanghi e residui industriali non pericolosi sia per indirizzare gli operatori verso forme di smaltimento corrette, sia per portare un contributo al fabbisogno energetico.

L'indagine preliminare condotta attraverso consorzi di filiera, smaltitori e recuperatori lombardi, ha evidenziato che i migliori componenti per la produzione di miscele fanghi- residui industriali non pericolosi appaiono essere le materie plastiche, il pulper di cartiera, gli scarti legnosi e la gomma (pneumatici esausti oppure scarti della lavorazione di guarnizioni non utilizzabili in altra maniera), dei quali esiste in Lombardia una disponibilità di circa 210.000 tonnellate/anno con potere calorifico medio compreso tra 4.000 e 7.000 kcal/kg.

Dall'indagine svolta risulta che attualmente vengono prodotti in Lombardia 41.000 ton/anno di fanghi (80% di secco) incrementabili di altre 23.700 con il sistema depurativo di Milano a regime.

E' stata inoltre stimata una produzione di 210.000 ton/anno di residui industriali non pericolosi quali pneumatici usati, pulper di cartiera, biomasse, residui plastici, gomme da guarnizione, ecc. con potere calorifico medio compreso tra 4.000-7.000 kcal/kg. Questi prodotti hanno un elevato potenziale energetico, non omogeneo, recuperabile sotto forma di calore o energia elettrica.

Il recupero di energia dai residui industriali e fanghi di depurazione attraverso un processo di combustione richiede che il materiale introdotto nel combustore abbia adeguate caratteristiche fisico-chimiche per garantire la completa ossidazione di tutto il materiale combustibile e condizioni favorevoli per il contenimento dell'impatto ambientale.

L'uso di tali residui richiede, pertanto, la preliminare realizzazione di combustibili con caratteristiche ben definite oppure omogenee, progettati per produrre piccole quantità di scorie, basse emissioni, alte rese energetiche, svincolati il più possibile da oscillazioni dei costi causate da scarsità di uno o più componenti e da variazioni di prezzo troppo consistenti, in pratica "combustibili qualificati".

Il lavoro svolto con Associazioni, Istituzioni ed Istituti di Ricerca ha portato a definire un programma sperimentale completo che potrebbe portare alla valorizzazione di queste risorse energetiche, fondato sui seguenti punti:

- approvvigionamento e caratterizzazione del materiale combustibile necessario per la sperimentazione (fanghi, pneumatici usati, pulper di cartiera, biomasse, residui plastici, gomme da guarnizioni, ecc.)
- predisposizione di miscele combustibili con potere calorifico diversificato (3.000 - 4.000 – 5.000 kcal/kg) e loro caratterizzazione
- prove di corrosione ad alta temperatura in atmosfere simulate di combustione
- prove di combustione di alcune miscele campione presso un impianto sperimentale disponibile (per esempio quello di ENEA di Saluggia, RSE o altro)
- inertizzazione delle ceneri mediante vetrificazione e controllo di qualità sui prodotti vetrificati presso i laboratori RSE.

Tale proposta, ha trovato parere favorevole da parte delle Commissioni Ecologia delle Zone 4 e 5.

Le pompe di calore per il recupero energetico dalle vasche di depurazione

Le potenzialità dei depuratori, quali pozzi termici da cui attingere calore per riscaldare le case, sono ben rappresentate nel grafico della figura sottostante.

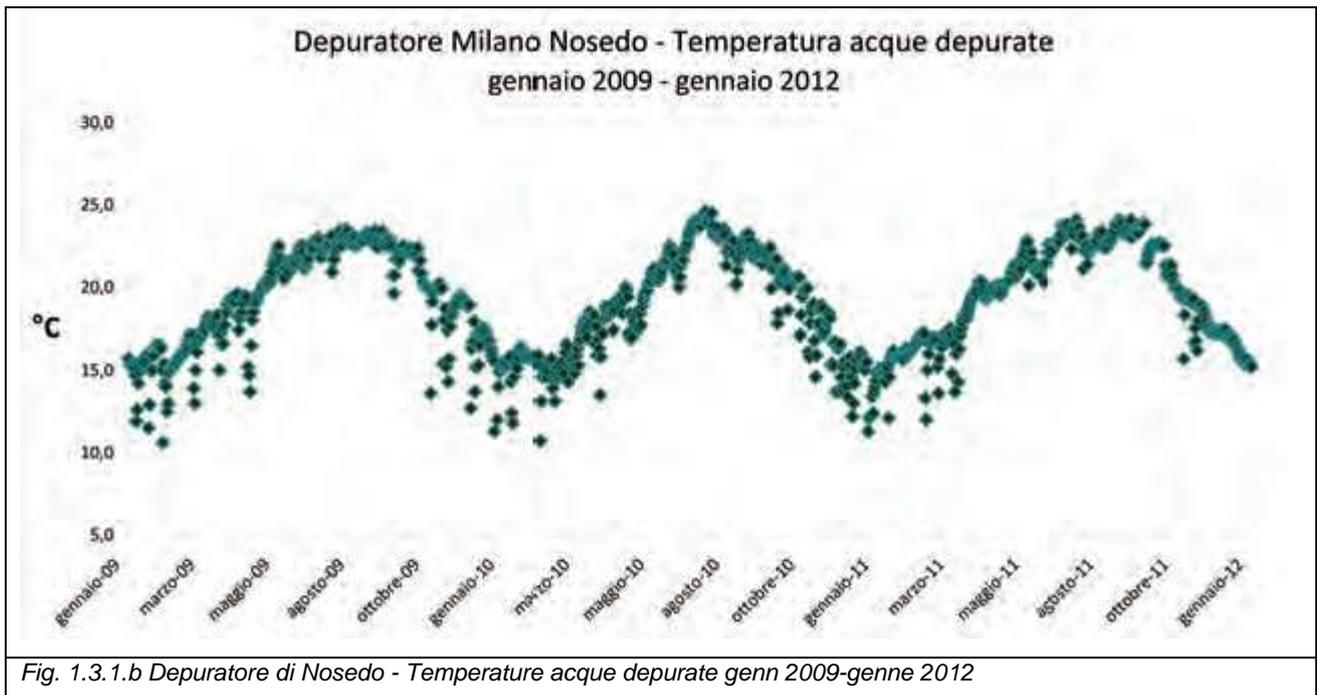


Fig. 1.3.1.b Depuratore di Nosedo - Temperature acque depurate genn 2009-genne 2012

Come si può notare nella figura precedente il valore di temperatura oscilla da un minimo di 10°C ad un massimo di 24°C.

Lo sfruttamento delle acque depurate può, pertanto, essere a tutti gli effetti assimilato a fonte rinnovabile di energia, poiché nel funzionamento in riscaldamento a pompa di calore esse costituiscono un pozzo termico, meno affetto dalle condizioni atmosferiche rispetto all'aria, dal quale estrarre calore (non altrimenti riutilizzabile) mediante il lavoro del compressore entro un ciclo frigorifero (a fronte di 1kW elettrico assorbito possono essere ottenuti circa 4,5kW termici).

Nella climatizzazione estiva inoltre la disponibilità di acque depurate consente la condensazione ad acqua anziché ad aria sulle medesime unità, ottenendo valori di efficienza energetica decisamente superiori rispetto a gruppi frigoriferi di taglia corrispondente ma con condensazione ad aria. Sulla base di questi presupposti, è stato realizzato un progetto pilota all'interno del sito del depuratore di Milano-Nosedo, che potrebbe aprire nuove prospettive se esteso ad un più ampio bacino d'utenza,

Per il progetto è stata adottata la tecnologia ormai matura delle unità a pompa di calore a inversione di ciclo (capaci cioè di agire come refrigeratore invertendo la "direzione" del ciclo frigorifero a compressione), abbinandola allo scambio con la fonte idrotermica disponibile in loco (le acque depurate). Nella figura sottostante è riportato lo schema funzionale della centrale con pompe di calore acqua/acqua a servizio degli edifici dell'impianto di depurazione di Nosedo.

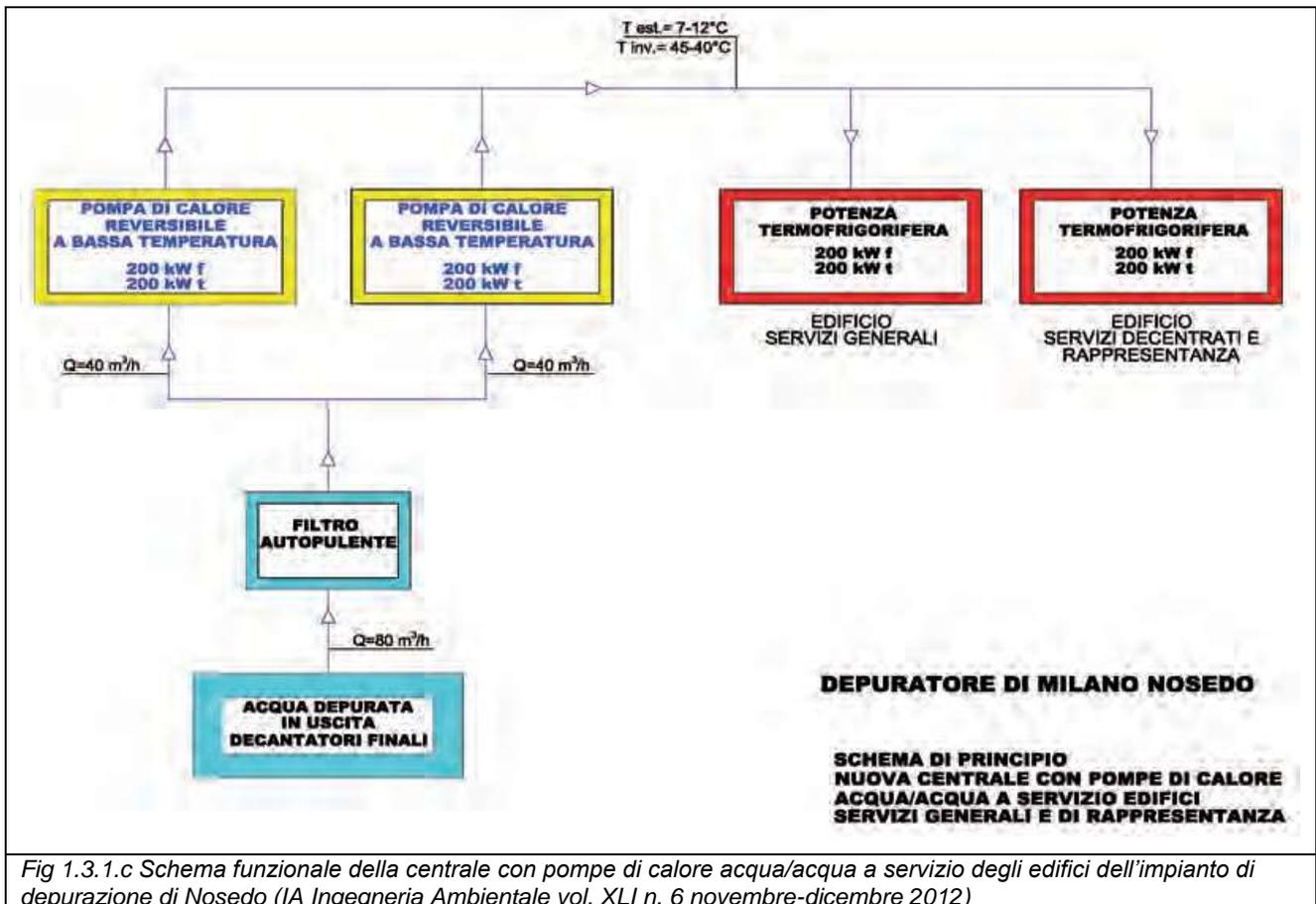


Fig 1.3.1.c Schema funzionale della centrale con pompe di calore acqua/acqua a servizio degli edifici dell'impianto di depurazione di Nosedo (IA Ingegneria Ambientale vol. XLI n. 6 novembre-dicembre 2012)

Le acque reflue depurate sfruttate a scopo termico sono prelevate dal canale di raccolta posto a valle della sedimentazione finale del primo modulo del depuratore, per mezzo di tre elettropompe ad asse verticale prolungato (una di completa riserva e tutte con motore esterno) della portata unitaria nominale di circa 11 l/s, filtrate poi meccanicamente mediante un gruppo di filtrazione costituito un filtro autopulente automatico idoneo per carichi elevati di solidi sospesi e condizioni di impiego gravose.

I fluidi termovettori primari sono prodotti in particolare da due nuove unità a pompa di calore ubicate nella centrale termofrigorifera del piano terra dell'edificio Servizi Generali (più vicino al punto di presa delle acque depurate); l'adduzione dell'acqua calda o refrigerata alla centrale dell'edificio Servizi Decentrati e Rappresentanza viene assicurata mediante una rete di tubazioni di tipo preisolato interrate in corrispondenza del cordolo della strada di collegamento tra i due edifici.

Una descrizione dettagliata dell'intervento è stata riportata in : IA Ingegneria Ambientale vol. XLI n. 6 novembre-dicembre 2012

Un'opportunità di sfruttamento termico per un bacino di utenza più esteso delle acque depurate di Nosedo è illustrato nella figura sottostante. Si potrebbe prospettare infatti la realizzazione di una nuova centrale di teleriscaldamento per gli edifici civili della zona.

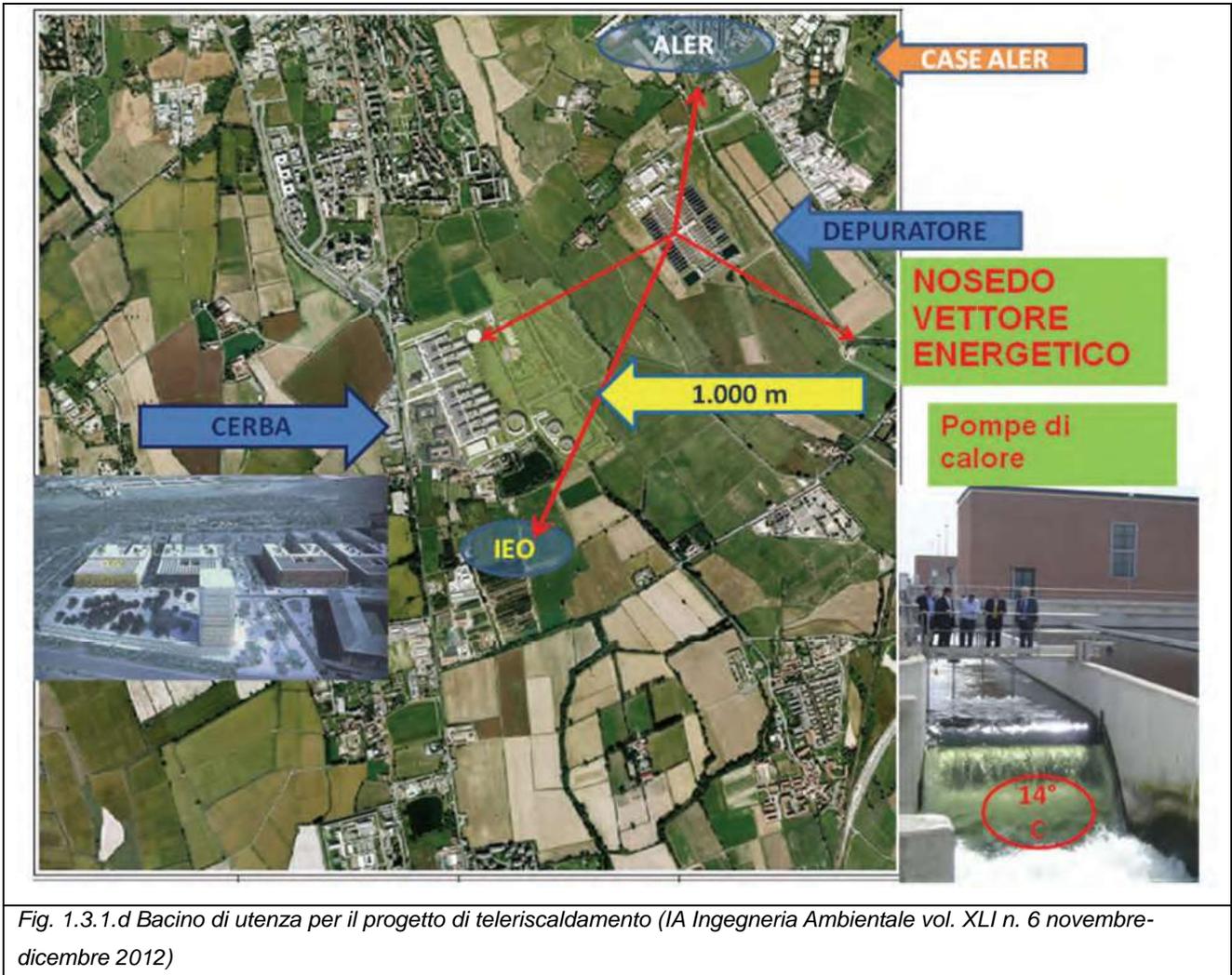


Fig. 1.3.1.d Bacino di utenza per il progetto di teleriscaldamento (IA Ingegneria Ambientale vol. XLI n. 6 novembre-dicembre 2012)

Il potenziale bacino d'utenza è costituito in prima istanza dagli edifici di edilizia economica-popolare di proprietà ALER posti nelle immediate vicinanze del depuratore, e in seconda fase dalla possibilità di allacciare ulteriori edifici pubblici o a uso pubblico (scuole, gerontocomi ecc.). Accanto a queste utenze con necessità esclusivamente "termiche" (riscaldamento invernale, produzione acqua calda sanitaria) è da valutare anche la fattibilità di interconnessione con il futuro complesso sanitario e di ricerca medica del CERBA (Centro Europeo di Ricerca Biomedica Avanzata), previsto in via Ripamonti accanto all'attuale Istituto Europeo di Oncologia (IEO). Per la rilevanza delle dimensioni ed i fabbisogni energetici ad esso connessi, il CERBA potrebbe assicurare infatti un elevato carico di base per la centrale di teleriscaldamento di Nosedo in qualsiasi periodo dell'anno (specie se integrata con il teleraffreddamento). Nella figura sottostante si riporta uno schema a flusso di dettaglio del progetto di teleriscaldamento interconnesso al centro CERBA.

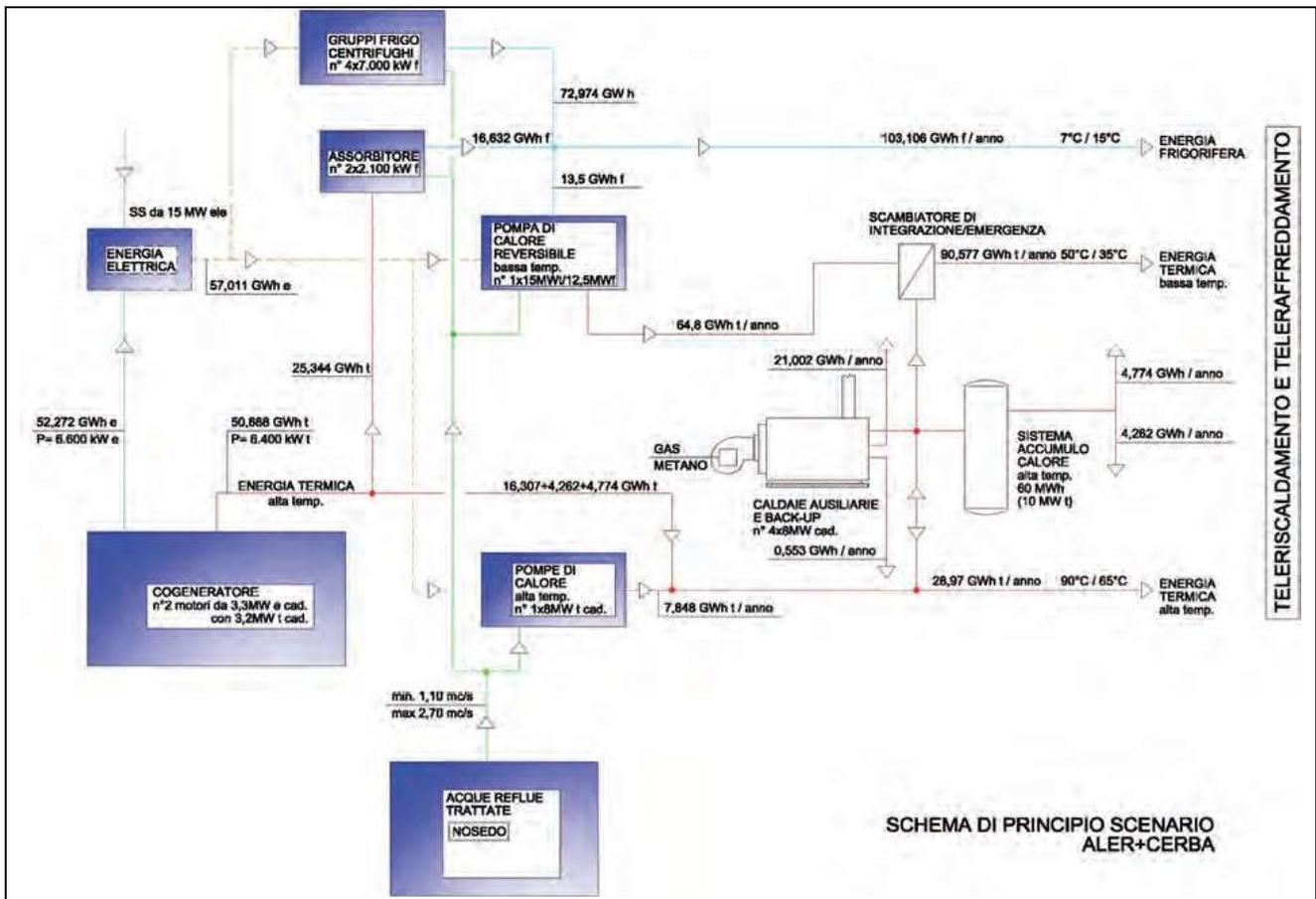


Fig. 1.3.1.e Schema a flusso di dettaglio del progetto di teleriscaldamento interconnesso al centro CERBA

Un'attenzione particolare è stata posta nello sfruttamento delle risorse rinnovabili disponibili nel contesto dell'intervento, individuando la cogenerazione e lo sfruttamento dell'acqua di falda (sorgente idrotermica per pompe di calore acqua/acqua) come le fonti primarie per la copertura pressoché integrale del fabbisogno termico per riscaldamento invernale del centro biomedico (con parziale copertura anche del fabbisogno frigorifero per climatizzazione estiva). L'allargamento d'orizzonte alle opportunità, in termini di fonti rinnovabili o assimilate, disponibili nel vicino depuratore di Nosedo rafforza fortemente il paradigma di una strategia energetica integrata mirata a valorizzare le risorse locali da fonti rinnovabili.

Microturbine Idrauliche ed il Mulino di Chiaravalle

Per quanto riguarda l'utilizzo della risorsa acqua, presso l'Abbazia di Chiaravalle è in procinto di essere posto in funzione un antico mulino, che avrà valenza dimostrativa e didattica dell'uso energetico dell'acqua anche per macinare farina per la produzione del pane direttamente in loco. Il Borgo di Chiaravalle è la realtà urbana più significativa, abitato attualmente da una comunità di circa 1300 persone.

Le valutazioni effettuate in collaborazione con RSE hanno evidenziato che non sono presenti nell'area, nemmeno all'interno del depuratore, salti d'acqua sfruttabili ai fini della produzione di energia elettrica con le microturbine attualmente disponibili sul mercato. Queste ultime richiedono un salto d'acqua minimo di circa 3 m per un'area di ingombro limitata e per costi contenuti.

Sfruttamento diretto dell'energia solare in pannelli termici

Il collettore solare "Aretha"

Nell'ambito delle possibilità di sfruttamento diretto dell'energia solare per l'accumulo di calore, è stato progettato e sviluppato uno specifico progetto didattico, denominato "ARETHA", che ben rappresenta la tecnologia dei pannelli solari termici. Il pannello solare ARETHA differisce da quelli commerciali poiché può essere costruito con materiale di scarto e facilmente reperibile in loco, come legno, lana, radiatori di auto e lastre di plastica trasparente. Qualsiasi materiale isolante, come fibra di vetro, lana di roccia, lana di pecora; materiale trasparente come il policarbonato; un radiatore di automobile di media potenza ogni 8-10 metri quadrati di pannello, recuperato da uno sfasciacarrozze può diventare utile ai fini della costruzione di un pannello come Aretha.

Il principio di ARETHA consiste, infatti, nel produrre aria calda che scalda l'acqua per mezzo di un dispositivo ad alta efficienza, costruito per uno scopo diverso: il radiatore di automobile. Ogni auto ha la necessità di disperdere il calore prodotto dal motore. Il radiatore fornisce un efficiente scambio tra l'acqua di raffreddamento, che circola nel motore, e l'aria esterna. Nel caso di ARETHA, il radiatore lavora al contrario: raccoglie calore dall'aria calda e trasferisce questa energia all'acqua di un circuito chiuso. L'acqua calda è poi immagazzinata in un serbatoio isolato termicamente, posto vicino al pannello.

Il radiatore è un componente ad alta capacità di scambio termico acqua-aria, progettato per smaltire quasi il doppio dell'energia ceduta alle ruote. L'uso di anticongelanti nell'acqua, oltre a innalzare la temperatura d'esercizio del sistema (attorno ai 120 °C) determina un'eccellente protezione dalle corrosioni, che si traduce in una maggior durata del componente, ben oltre il limite d'impiego dell'auto stessa. Perciò il radiatore può essere usato per scambiare calore al rovescio, tra l'aria calda e l'acqua fredda.

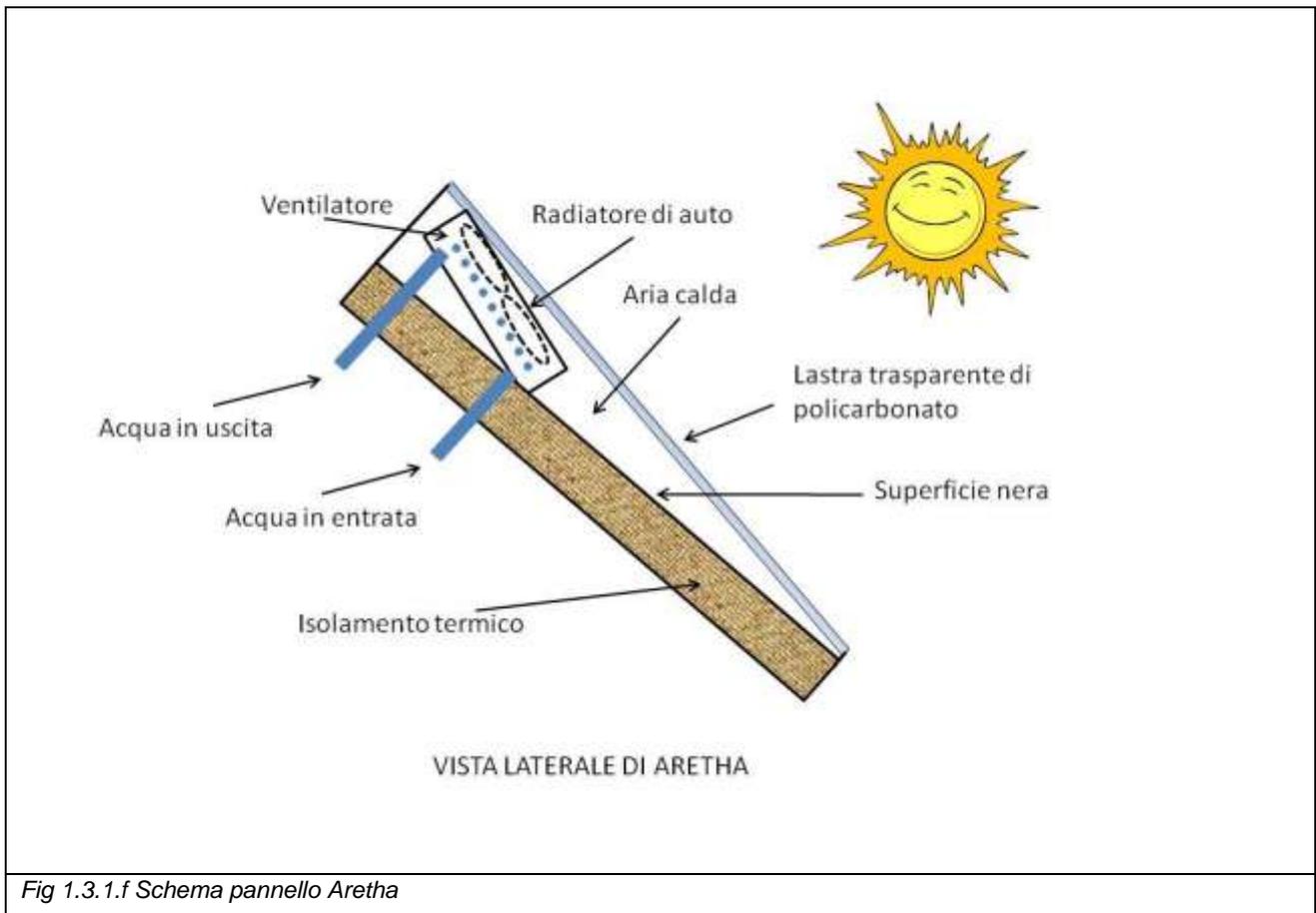
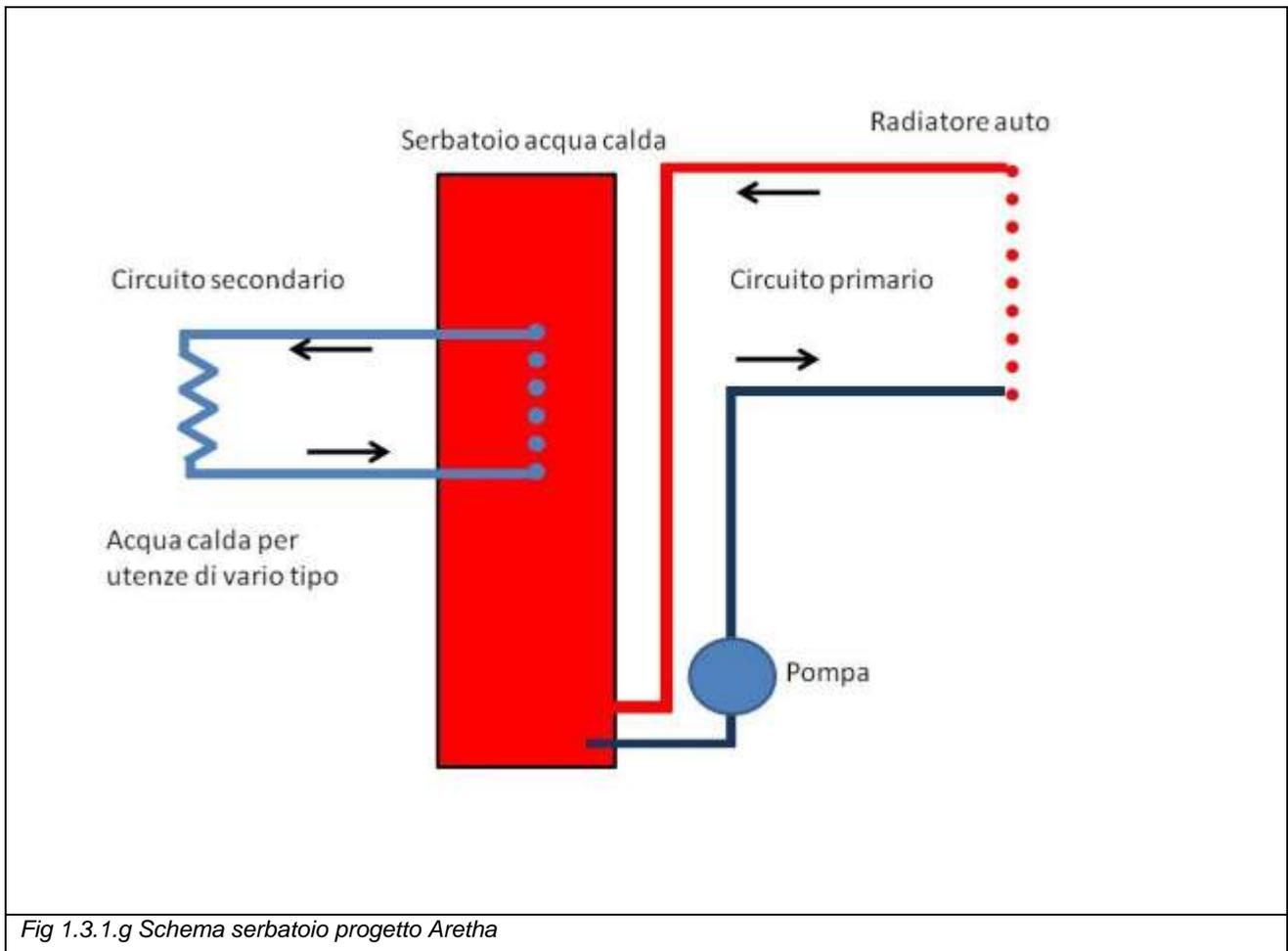


Fig 1.3.1.f Schema pannello Aretha

Il pannello ARETHA è essenzialmente una scatola con pareti ben isolate termicamente, eccetto per una, la finestra, fatta con lastre trasparenti di policarbonato. Il fondo e le pareti interne di ARETHA sono dipinte di nero. I raggi del sole passano attraverso la finestra trasparente e sono assorbiti dal fondo della scatola, innalzando la temperatura dell'aria dentro di essa. Il radiatore di automobile è situato al centro della scatola in un vano appropriato, in modo tale che il davanti del radiatore sia sullo stesso piano del fondo della scatola, mentre la parte posteriore, dove è presente il ventilatore, è nel vano. Il ventilatore mette in movimento l'aria attraverso i tubi del radiatore, il vano e il resto della scatola. Il ventilatore è collegato ad un alimentatore da 12 V in continua, ottenuto da un PC rottamato. Da tener presente che l'energia elettrica usata per il ventilatore è quasi interamente dissipata nel riscaldamento dell'aria, quindi non viene dispersa.



Fig 1.3.1.g Prototipo ARTHENA collocato nei pressi del Depuratore di Nosedo



L'acqua circola dal radiatore fino al serbatoio isolato termicamente, dove mantiene la sua temperatura per tutta la notte. Nel serbatoio è possibile installare un secondo radiatore con lo scopo di riscaldare l'acqua per scopi differenti: toilette, riscaldamento, etc.

Il dimostrativo con pannello fotovoltaico

Sempre e solo per finalità dimostrative e didattiche, nell'Area Sperimentale presso l'Associazione Nocetum in Corte san Gaicomo trovano spazio:

- una centralina meteo, in grado di rilevare i più significativi parametri atmosferici (temperatura, velocità e direzione del vento, radiazione solare, precipitazioni ecc.) e di trasmetterli via internet al sito associativo, rendendoli quindi direttamente consultabili dal pubblico
- una lampada solare alimentata da un piccolo pannello fotovoltaico che produce e, attraverso una batteria, accumula durante il giorno l'energia necessaria per tenere accesa la lampada nelle ore notturne.

Inoltre, sul tetto della serra all'interno dell'Area, è stato installato un pannello fotovoltaico con una superficie di circa 1 m² e potenza di circa 100w, in grado di caricare durante il giorno un accumulatore. A fini dimostrativi è stato inserito nel circuito un display che consente di visualizzare l'energia prodotta e fornita all'accumulatore, da cui è possibile prelevare corrente continua a 12 v e inviarla a un inverter in grado di trasformarla in corrente alternata a 220v.



Fig 1.3.1.h Pannello fotovoltaico presso l'Area Didattica e Sperimentale presso Associazione Nocetum- City Farm

L'inverter è a sua volta collegato a una presa di servizio in grado di erogare corrente alternata a 220 v alle utenze più varie come un ventilatore, un PC o altro. Queste esperienze sono state molto seguite ed apprezzate dai giovani studenti che hanno potuto verificare di persona l'utilizzo di una fonte energetica rinnovabile.

2. DEFINIZIONE PROTOTIPI DIDATTICI-DIMOSTRATIVI I

2.1 Piano di sperimentazione di celle a combustibile microbiche alimentata da biomassa

Per un'introduzione all'argomento, si segnala e si rimanda all'articolo pubblicato su "Le scienze" del mese di Maggio 2014, a cura di Pierangela Cristiani (RSE – vedi Allegato 4) . L'abilità dei batteri nel fermentare la sostanza organica in prodotti utili per l'alimentazione umana è un

fenomeno ampiamente sfruttato dalle civiltà più antiche, ben prima della scoperta dell'esistenza dei batteri stessi. Solo negli ultimi secoli, tuttavia, è stato possibile studiare in dettaglio i processi microbici di degradazione, a seguito del rapido sviluppo delle conoscenze scientifiche, e utilizzarli in numerose nuove applicazioni. Oggi le biotecnologie occupano un campo significativo e in espansione dell'ingegneria, includendo processi strategici per lo sviluppo dei servizi, quali la depurazione dei reflui, il trattamento di rifiuti, la fabbricazione di nuovi prodotti per l'industria chimica, farmaceutica e, ultimamente, anche energetica. Proprio al comparto energetico si rivolge la più recente, straordinaria scoperta relativa al metabolismo batterico: la possibilità di trasferire direttamente gli elettroni derivanti dai processi ossidativi della sostanza organica tramite una sorta di "cortocircuito" tra metallo e componente biologica. Questa scoperta, su cui esperti in campi molto differenti tra loro - quali la biologia, l'elettronica, l'ingegneria e l'elettrochimica - si stanno confrontando in modo trasversale nei laboratori più avanzati, ha suggerito la possibilità sfruttare i microrganismi per la produzione di energia elettrica tramite pile a combustibile "microbiche".

I sistemi Bio-elettrochimici

Un sistema elettrochimico si crea quando un conduttore elettrico si trova in contatto con una soluzione salina conduttrice di ioni (tipicamente una soluzione acquosa). In questo caso, una forza elettromotrice può indurre la circolazione di una corrente elettrica tra il mezzo liquido e quello solido, sostenuta da reazioni di ossido-riduzione che avvengono ai capi dei due poli (anodo e catodo), tra cui si viene a creare una differenza di potenziale.

Gli ioni si spostano nel liquido con più difficoltà di quanto non facciano gli elettroni in un metallo, dove la conducibilità elettrica è di ordini di grandezza superiore. Le sostanze disciolte nel mezzo acquoso trovano, quindi, nel conduttore solido una via preferenziale per scambiare cariche rispetto ad altre sostanze disciolte in soluzione che si trovano in zone irraggiungibili, o più difficilmente raggiungibili. In questo modo, possono avvenire reazioni di ossido-riduzione senza il contatto diretto tra sostanze che cedono gli elettroni e quelle che li acquistano.

La continuità del circuito elettrico esterno e dell'elettrolita liquido garantiscono il flusso di corrente ed il bilanciamento delle cariche. Lo scambio di elettroni solido-liquido richiede maggiore energia di

attivazione di quello diretto tra due sostanze nel mezzo liquido. Pertanto, è necessario utilizzare dei catalizzatori sulla superficie degli elettrodi che facilitano la reazione. Questi sono generalmente metalli nobili (quindi inerti), come il platino, distribuiti sulla superficie conduttiva in modo da massimizzare i centri attivi di reazione.

Un sistema bio-elettrochimico utilizza molecole biologiche (enzimi, complessi di enzimi, intere cellule, batteri, altri microrganismi, ecc) per la catalisi di una o entrambe le reazioni che avvengono all'anodo e al catodo (Figura sottostante).

Le reazioni di ossido-riduzione possono coinvolgere gli atomi del metallo, causandone la corrosione, oppure no, nel caso di un elettrodo inerte. In quest'ultimo caso, a sostenere la circolazione delle cariche dal mezzo liquido al solido sono le sostanze disciolte che "strappano" gli elettroni al catodo, trasformandosi in sostanze più ridotte, contestualmente ad altre che cedono gli elettroni all'anodo ossidandosi, in uno spazio fisico che può essere più o meno lontano dal catodo.

L'ossigeno è una delle sostanze più ossidanti ed è in grado di ossidare quasi tutti i metalli, causando corrosione; ossida, inoltre, tutte le sostanze organiche, un fenomeno più noto come "combustione".

A differenza del processo di corrosione dei metalli, la combustione delle sostanze organiche (caratterizzate da legami tra gli atomi di carbonio molto forti) richiede un'elevata energia di attivazione per avvenire spontaneamente e ne restituisce molta di più, quando se ne fornisce il quantitativo sufficiente per avviare la reazione. Per questo motivo l'accensione del fuoco (dato dalla combustione delle biomasse) è una delle forme più antiche e sfruttate per ottenere calore ed energia.

Proprio per l'elevato quantitativo di energia fornita, la combustione è anche il sistema principale, comune a tutti gli organismi biologici aerobici, per ottenere energia. Gli organismi anaerobici, che vivono in assenza di ossigeno, si accontentano dell'energia fornita da reazioni di ossido riduzione meno efficienti in termini energetici, come la fermentazione e la riduzione del solfato o del nitrato (con un potenziale termodinamico più basso dell'ossigeno).

Indipendentemente dalla specie ossidante, l'energia di attivazione richiesta per avviare la reazione di combustione alla temperatura ambiente in cui vivono gli organismi biologici ne impedisce l'avvio spontaneo, per questo, è stato necessario sviluppare catalizzatori idonei a rendere questa energia il più bassa possibile (enzimi). Una catena di enzimi ha lo scopo di annullare il più possibile l'energia

di attivazione di una reazione chimica, rendendola facilmente reversibile, in modo da spingere le reazioni chimiche o di ossido-riduzione, in una direzione o all'opposto, senza un dispendio significativo di energia.

La prerogativa naturale dei microrganismi di indurre fenomeni elettrici, tramite enzimi, può essere sfruttata in vario modo nei sistemi elettrochimici, sia per la produzione di fonti o vettori di energia, sia per accelerare processi di degradazione di produzione di composti chimici, compresi gli organici più recalcitranti.

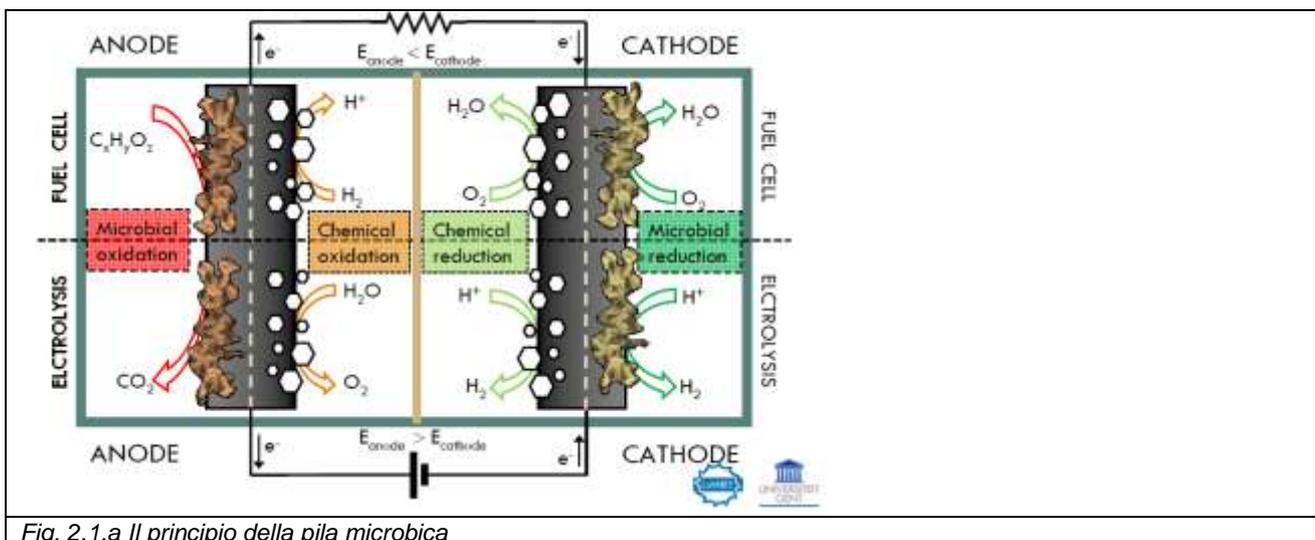


Fig. 2.1.a Il principio della pila microbica

Nel caso della pila gli elettroni si spostano dal polo negativo (anodo) a quello positivo (catodo), nel caso dell'elettrolisi le polarità degli elettrodi sono invertite forzatamente con l'apporto di energia esterna. Gli ioni positivi controbilanciano lo spostamento di carica nella stessa direzione degli elettroni, attraverso la soluzione.

Il principio di funzionamento di una pila microbica

In una cella a combustibile microbica i batteri crescono su uno o entrambi gli elettrodi, formando un biofilm in grado di catalizzare, attraverso il metabolismo batterico, le reazioni elettrochimiche di ossidazione del combustibile e il passaggio di elettroni dal compartimento anodico a quello catodico.

Nel compartimento anodico, in assenza di ossigeno, crescono e si sviluppano i batteri in grado di svolgere la degradazione delle sostanze organiche, trasformandole in anidride carbonica, ioni idrogeno ed elettroni. L'ossigeno, presente solo sul catodo, determina la forza elettromotrice della pila "microbica", richiamando il flusso degli elettroni generati attraverso gli elettrodi e il flusso equivalente degli ioni di idrogeno attraverso la soluzione. Molti studi sono oggi dedicati a chiarire

con certezza i diversi meccanismi di trasferimento degli elettroni prodotti all'anodo, e di cattura degli stessi al catodo, mediati dai batteri.

Energia rinnovabile dai reflui

La nuova tipologia di cella a combustibile (Microbial Fuel Cell dall'inglese) è di particolare interesse tecnologico poiché, in linea di principio, rende possibile il trasferimento dell'energia chimica contenuta in qualsiasi forma di biomassa biodegradabile (ed in particolare nei reflui) in energia elettrica rinnovabile, con un elevato rendimento, operando a bassa temperatura, in sistemi apparentemente di semplice realizzazione e dal costo relativamente contenuto.

Le sostanze organiche si trovano molto disperse nei terreni, nelle acque naturali, nei reflui, tuttavia l'integrale di questa biomassa residuale potenzialmente disponibile può raggiungere stime considerevoli.

Un aspetto di sostenibilità economica ed ambientale non trascurabile offerto dai sistemi bio-elettrochimici riguarda, infatti, la prerogativa di poter utilizzare risorse marginali quali rifiuti e reflui organici (civili ed industriali), anche tossici, e scarti agro-alimentari. Tuttavia, non è facile valutare - allo stato dell'arte - quanto siano concrete e vicine le ricadute industriali sia in campo ambientale sia energetico.

I sistemi bio-elettrochimici trovano una naturale prima, ma non esclusiva, collocazione in impianti industriali biotecnologici già operativi quali i depuratori, potendo contribuire in vario modo all'ottimizzazione dei processi di depurazione oltre che alle esigenze energetiche dell'impianto.

La potenzialità energetica della materia organica disciolta nei reflui è più sufficiente per sopperire, in linea teorica, al fabbisogno di energia che il normale processo di depurazione richiede.

Nel caso esemplificativo di un depuratore municipale asservito a una città di un milione di abitanti, considerando un consumo di acqua pro capite di 300 l/giorno e un contenuto di carico organico di 400 mg/l di COD (contenuto energetico di 15 kJ/g COD), la potenza teorica ricavabile dal refluo con un rendimento del processo del 30% è stimabile in circa 6 MW, sufficiente in prima approssimazione a coprire la domanda energetica dell'impianto (come quello di Milano Nosedo).

Nel caso di un refluo industriale da deiezioni animali o da scarti di produzione agro-industriale, la portata di biomassa è superiore e la potenza ricavabile può essere dell'ordine di qualche kW/m³.

Da rilevare è che gli stessi batteri operanti nei depuratori ed in particolare i ceppi responsabili della fermentazione anaerobica della sostanza organica anche negli impianti di produzione di biogas possono operare all'anodo di celle a combustibile microbiche, con meccanismi alternativi alla sintesi del metano.

In generale, ottimizzando i processi tradizionali di fermentazione e combinandoli con quelli elettrochimici potrebbe essere possibile ottenere un chiaro beneficio sia in termini energetici sia per la stabilizzazione e depurazione degli effluenti e rifiuti.

La rimozione del carico organico e degli acidi grassi volatili dai reflui assieme all'efficienza energetica sono gli aspetti maggiormente perseguiti con le sperimentazioni in corso, tuttavia, dallo sfruttamento dei meccanismi bio-elettrochimici potranno derivare anche altri vantaggi per gli impianti di depurazione, in termini di ottimizzazione del processo, di nuovi sistemi di monitoraggio dei trattamenti convenzionali e di nuovi trattamenti dedicati all'abbattimento di singoli inquinanti, oltre che dalla produzione di biocombustibili dai fanghi.

Negli ultimi anni, i progetti sperimentali di MFC negli impianti di trattamento dell'acqua reflua si stanno moltiplicando, ciononostante la tecnologia rimane confinata ancora a livello di laboratorio e dalle potenze ottenute, per lo più pari a pochi watt, non è ancora possibile estrapolare numeri attendibili in riferimento a potenzialità reali ed efficienze di impianti su scala industriale. Pertanto le potenzialità delle celle a combustibile chimiche (SOFC e la maggior parte delle PEM) continuano ad essere almeno di un ordine di grandezza superiore, nonostante fosse stata avanzata l'ipotesi di superare il divario già nel 2008.

Bisogna considerare, infatti, che il dispendio energetico nei batteri è ottimizzato ed i processi in gioco hanno caratteristiche molto variabili tra loro e difficilmente cumulabili con quelli di altre tecnologie già sviluppate, allo scopo di raggiungere grandi numeri in termini di produzione energetica. Nonostante queste difficoltà, la possibilità di poter ricavare una potenza di 1kW/m³ da un'acqua reflua con un carico organico giornaliero di 1–10 kg/m³ COD (chemical oxygen demand, una misura indiretta del carico organico inquinante totale) guida la sfida tecnologica dello scale-up.

Le maggiori criticità dell'applicazione della tecnologia MFC risiedono nella scelta di materiali e nello studio di geometrie di celle che garantiscano rendimenti elevati. Tuttavia, i risultati fino ad oggi resi disponibili dalla ricerca internazionale, in cui si inseriscono le sperimentazioni di RSE, confermano la possibile applicazione della tecnologia delle MFC su scala prototipale, in sistemi di semplice realizzazione e dal costo relativamente contenuto. In particolare, è stata confermata da RSE l'efficacia di semplici "biocodi microbici" da utilizzare al posto di catodi catalizzati da platino (economicamente non sostenibile) e la possibilità di operare senza l'impiego di membrana polimerica tra comparto anodico e catodico.

Sulla base delle esperienze condotte da RSE ed in accordo con quanto previsto dal progetto, sono ora in fase di sperimentazione prototipi presso il depuratore di Milano a Nosedo.

Sono, inoltre, allo studio sistemi bioelettrochimici microbici che abbiano una funzionalità di sensori ambientali della concentrazione di sostanza organica disciolta nell'acqua espressa come COD. L'ambizione è quella di cogliere la vicina opportunità di EXPO 2015 per promuovere al meglio i prodotti innovativi che saranno sviluppati.

2.1.1 Piano di sperimentazione di celle a combustibile microbiche alimentata da biomassa

RSE ha iniziato diverse sperimentazioni mirando a valorizzare dal punto di vista energetico ed ambientale, a differenti livelli, tre tipi di biomasse marginali: 1) sostanze organiche contenute in acque superficiali/sedimenti, 2) reflui municipali, 3) rifiuti agroalimentari solidi.

Presso il depuratore di Nosedo sono iniziate le principali sperimentazioni di prototipi di celle a combustibile microbiche immerse direttamente nelle vasche (aerobiche e anossiche).

Altre sperimentazioni sono in corso in stretta collaborazione con i partner universitari del progetto, per la messa a punto di sensori ambientali e per la conversione/accumulo dell'energia generata dalle celle (per le quali si rimanda ai capitoli 2.2, 2.3 e 3.4 in particolare).

Il piano di sperimentazione prevede, in particolare, la preparazione di prototipi dimostrativi progettati per avere un impatto visivo e di immagine-comunicazione rilevante di celle a combustibile microbiche da provare nella vasca finale, dopo la disinfezione e poi immergere nel canale Vettabbia in prossimità dell'Abbazia di Chiaravalle.

I prototipi avranno la forma di "aiuole galleggianti" con una base erbosa (che richiama l'immagine pubblicata sull'articolo di "Le scienze di maggio 2014 riportata qui sotto) e ricche di fiori, con led lampeggianti.

Tale prototipo sarà la base per altri manufatti da esporre potenzialmente in occasione di EXPO 2015. I più semplici prototipi didattici di celle a combustibile microbiche (albero di Natale, Babbo Natale e celle collegate direttamente a led luminosi) sono stati utilizzati nel corso degli incontri didattici con le scuole (vedi capitolo 3.3)

Nelle figure seguenti sono illustrati alcuni prototipi di pile microbiche in sperimentazione presso il depuratore di Nosedo. Maggiori dettagli sulla sperimentazione condotta sono riportati nel rapporto n. 14001880 del 28/02/2014 della Ricerca di Sistema

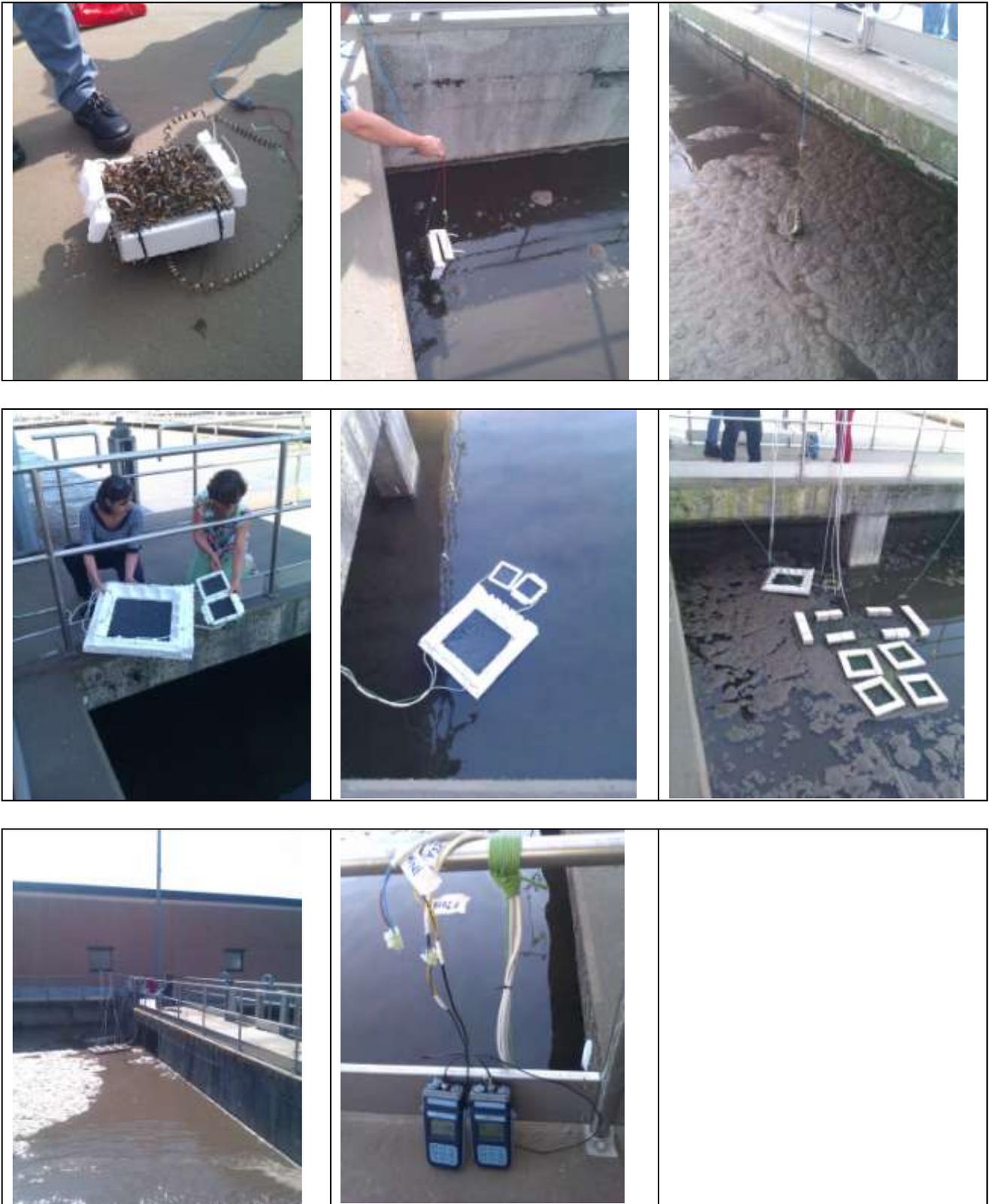


Fig. 2.1.1.a Prototipi di pile microbiche realizzati con diversi materiali e immersi in una vasca anossica del depuratore. Per ogni pila è stata acquisita in continuo la tensione ai capi di un carico elettrico costante (pari a 100 o 10 Ω).



Fig. 2.1.1.b Sviluppo di piante nel tempo (dopo un mese in alto e dopo 2 mesi in basso), in particolare su una delle 4 pile di identiche dimensioni e materiali. La pila con la pianta ha presentato le migliori prestazioni elettriche.

2.1.2 Ricerca finalizzata all'utilizzo dell'energia ricavata da celle a combustibile microbiche (MFC). Secondo anno di attività (2014).

Nel secondo anno di attività del progetto "INSIEME"- Esperienze di Tecnologie Energetiche Antiche e Future al Servizio della Sostenibilità, il gruppo di lavoro dell'Università degli Studi di Pavia ha proseguito l'attività ricerca finalizzata all'utilizzo dell'energia ricavata da celle a combustibile microbiche (MFC). Nel dettaglio è stata realizzata una piattaforma in grado di utilizzare l'energia di alcune MFC per alimentare carichi elettronici, come led luminosi e trasmettitori di dati wireless. I dispositivi realizzati sono stati testati con alcune celle in funzione presso il depuratore di Nosedo (Milano). Durante il periodo di attività sono stati realizzati diversi prototipi di circuiti, appositamente progettati per funzionare con una singola MFC o con più celle tra loro interconnesse. Inoltre i prototipi realizzati sono in grado di operare con celle di dimensione diversa, quindi con differenti livelli di potenza disponibile. I carichi utilizzati sono stati di due tipologie: una serie di led con funzionamento intermittente ed un trasmettitore wireless in grado di inviare dati relativi al sistema, in particolare temperatura e potenza erogata dalle celle, ad un ricevitore esterno collegato ad un personal computer.

L'attività è stata finanziata con una borsa di studio dal titolo: "Realizzazione di un front-end elettronico per un sistema di Energy harvesting alimentato da Microbial Fuel Cell (MFC) e realizzazione di un sistema elettronico di monitoraggio dei parametri della cella al fine della caratterizzazione e della modellizzazione del suo comportamento elettrico", erogata da Fondazione Cariplo nell'ambito del sopraccitato progetto.

Durante la prima fase del progetto sono state realizzate due diverse tipologie di circuiti per sfruttare l'energia generata dalle celle microbiche. Il primo prevede la connessione in serie di un certo numero di MFC per aumentare la tensione fino a livelli accettabili per la circuiteria elettronica. Tuttavia la strategia di connessione in serie di più celle risulta realizzabile in laboratorio, quando le singole celle sono fisicamente separate e non hanno in comune alcun substrato, ma non è attuabile in ambienti quali stagni e corsi d'acqua. Il secondo circuito utilizza una sola cella microbica, ma necessita di una sorgente esterna, come un piccolo pannello fotovoltaico o una batteria ricaricabile, per poter iniziare a funzionare. Per superare questi problemi durante la seconda fase del progetto sono stati progettati due nuovi circuiti: il primo è in grado di raccogliere energia da un certo numero di celle connesse tra loro in parallelo (strategia realizzabile in un singolo specchio d'acqua), il secondo da una singola MFC senza l'ausilio di alcuna sorgente esterna. I circuiti sviluppati sono quindi in grado di supportare un'applicazione reale che sfrutta l'energia delle MFC, come dimostrato dai test effettuati presso il depuratore di Nosedo. Inoltre è

stato creato un sistema, in grado di funzionare con ogni tipologia di connessione tra celle, per poter ricavare la potenza generata dalle stesse: questo dato è di fondamentale importanza per la corretta gestione dell'energia erogata dalle MFC, specialmente quando il numero di MFC in gioco è di diverse unità.

In Fig. 2.1.2.a è rappresentato lo schema a blocchi di un generico Sistema di Energy Harvesting (SEH). Tale struttura è applicabile in generale ai sistemi elettronici alimentati con generatori a bassissima potenza, gli harvester e ben si adatta al caso delle MFC. L'input del sistema è l'harvester mentre l'output, rappresentato come un carico elettronico generico, è un circuito elettronico che realizza funzioni complesse, legate al campo applicativo del SEH. Il Power Management System (PMS) è un modulo che agisce da interfaccia tra input ed output, adattando le caratteristiche elettriche dell'harvester a quelle del carico.

Questo blocco risulta necessario poiché nella maggioranza dei casi, in questo tipo di sistemi, l'harvester da solo non sarebbe in grado di sostenere il carico elettrico. Ad esempio, considerando come carico un circuito per l'acquisizione di dati da sensori e la loro trasmissione wireless oppure per la generazione di una luce di segnalazione intermittente a LED si può stimare un consumo istantaneo dello stesso di decine di milliwatt e una tensione di esercizio maggiore di 1.8 V. Considerando come harvester una singola cella MFC, in grado di erogare poche centinaia di μW , oppure 10 celle in grado di erogare fino ad alcuni mW, risulta evidente il fatto che quest'ultime non possono sostenere il consumo in potenza del carico.

Inoltre sia la tensione di lavoro della singola cella che quella di 10 celle connesse tra loro in parallelo risulta minore della tensione di esercizio del carico e ne inibisce il funzionamento. Il PMS agisce appunto per aggirare questo tipo di problemi: solitamente include un modulo di immagazzinamento di energia, uno di adattamento in tensione ed una logica di controllo. Tramite l'accumulazione dell'energia per mezzo di un supercapacitore si ovvia ai problemi derivanti dalla bassa capacità di erogazione di potenza dell'harvester. Il funzionamento del SEH viene suddiviso in due fasi: inizialmente l'harvester a bassa potenza carica il supercapacitore mentre il carico è spento e solo in un secondo momento il PMS abilita il carico ad alta potenza che verrà alimentato con l'energia immagazzinata. Naturalmente, per il principio di conservazione dell'energia, la seconda fase sarà sensibilmente più breve della prima. Per quanto riguarda l'adattamento in tensione il PMS si avvale spesso di DC-DC converter in grado ad esempio di innalzare la tensione disponibile e renderla adatta alle esigenze del carico.

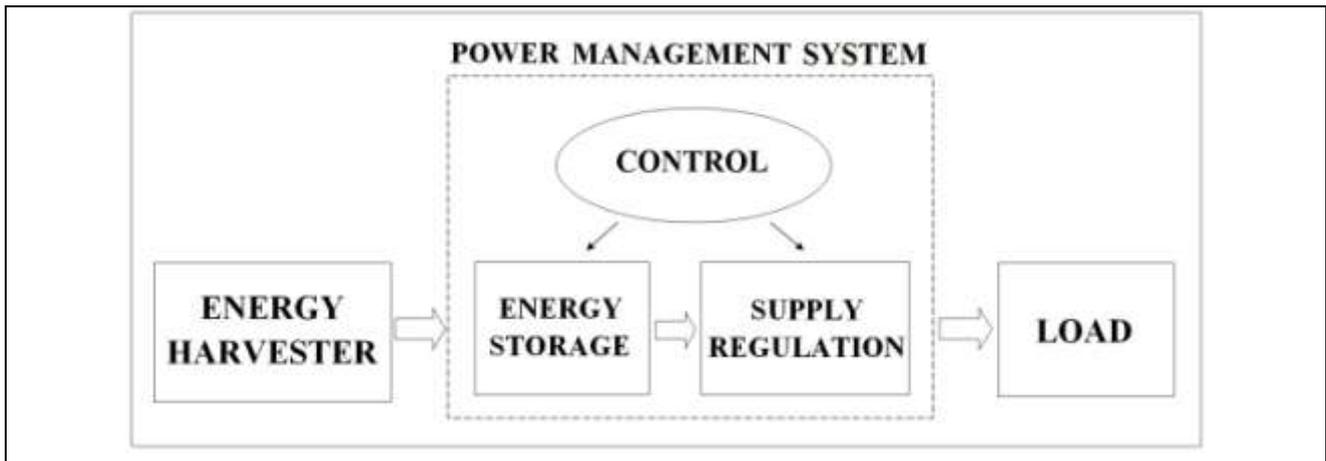


Fig 2.1.2.a Schema a blocchi relativo ai sistemi alimentati dalle celle MFC

Alla luce di queste considerazioni e delle caratteristiche elettriche delle MFC la progettazione di SEH-MFC è stata condotta attraverso due macro-strategie, volte al superamento delle difficoltà legate alla ridotta generazione elettrica delle celle:

- 1) Utilizzo di un PMS low-power e low-voltage in grado di far funzionare un SEH nelle estreme condizioni di esercizio relative alla singola MFC.
- 2) Progettazione di SEH alimentati contemporaneamente da più celle connesse tra loro in parallelo: in questo modo è possibile moltiplicare di potenza erogata dal singolo generatore ed utilizzo di PMS dalle prestazioni meno critiche.

In Fig. 2.1.2.b è rappresentato uno schema circuitale relativo alla prima strategia per lo sfruttamento delle MFC. Esso comprende un modulo di adattamento di tensione basato sull'oscillatore di Armstrong con raddrizzatore passivo e capace di funzionare con un consumo di potenza minore di 100 μ W a 100 mV. Inoltre include un modulo di accumulo di energia basato sul condensatore CS e su un Voltage Detector (VD). Il VD è un particolare componente 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.

Appena una MFC viene collegata, il circuito inizia automaticamente ad oscillare e a produrre un segnale AC amplificato secondo il rapporto spire dell'amplificatore sul secondario dello stesso. Il segnale viene rettificato e carica il condensatore di accumulo CS. Durante tutta questa fase il VD

inibisce l'afflusso di potenza verso il carico. Solo quando la tensione su CS e quindi ai capi dello stesso raggiunge la soglia prefissata, il carico viene alimentato.

Tale successione di eventi si ripete ciclicamente con comportamento asincrono e cioè non temporizzato ma legato alla produzione istantanea di potenza da parte della MFC. Infatti, poiché l'energia utilizzata da un dato 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. Il tempo per cui il carico viene alimentato dipende dall'isteresi sulla tensione monitorata dal VD, parametro che dipende dalla tecnologia del componente. Per cui la progettazione del carico tiene in conto di questo effetto.

In Fig. 2.1.2.c è riportata la fotografia del circuito stampato (PCB) di SEH realizzato per singola MFC.

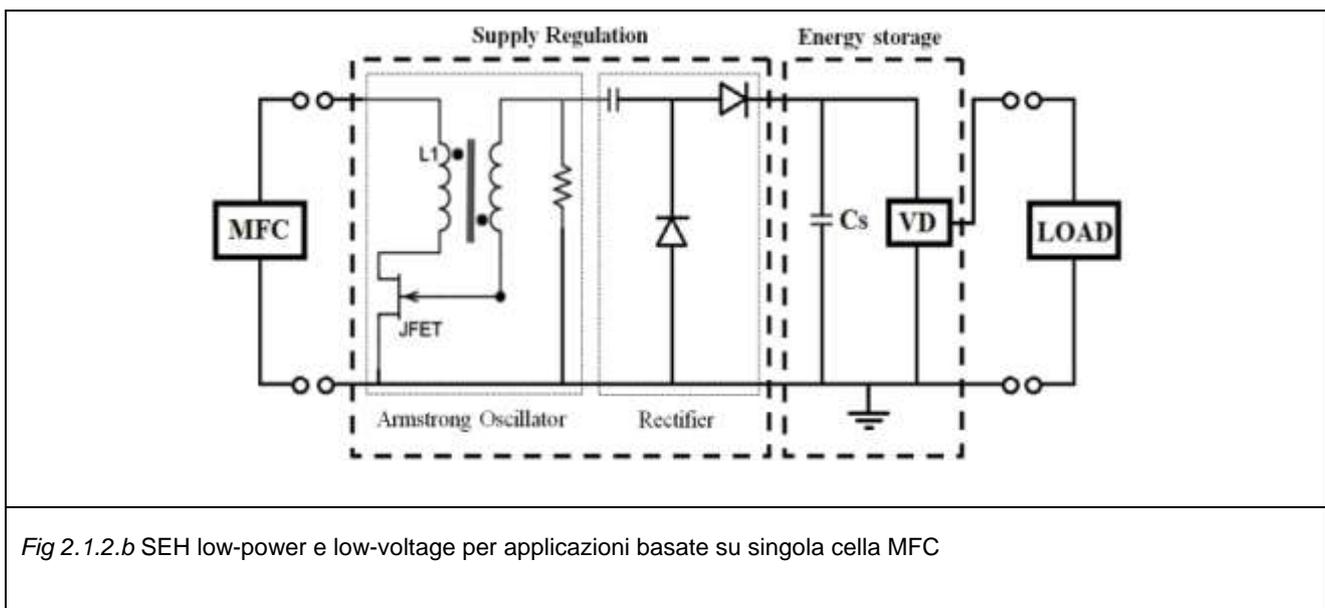


Fig 2.1.2.b SEH low-power e low-voltage per applicazioni basate su singola cella MFC

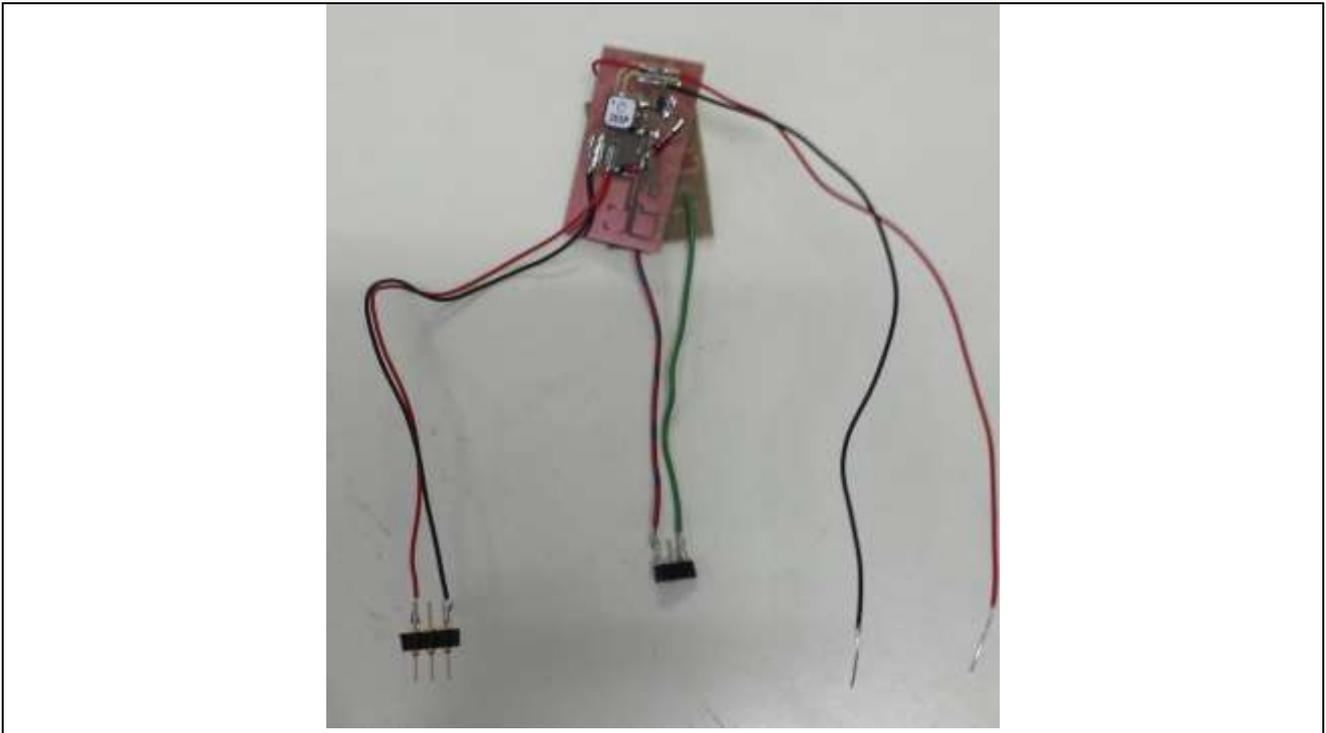


Fig 2.1.2.c Realizzazione su PCB del SEH low-power e low-voltage per applicazioni basate su singola cella MFC

In Fig. 2.1.2.d è rappresentato lo schema circuitale relativo alla seconda strategia per lo sfruttamento delle MFCs. Il circuito è progettato per funzionare con 10 MFC connesse in parallelo. Poiché le celle così collegate hanno una tensione di esercizio equivalente pari a quella della singola cella, il PMS di questo sistema include sia il modulo di immagazzinamento dell'energia che quello di adattamento di tensione descritti precedentemente.

L'architettura del circuito ricalca quella basata su singola MFC. L'harvester è collegato direttamente ad un convertitore DC/DC, il Linear Technology® LTC3108, che provvede all'adattamento del livello di tensione in uscita dalla rete di MFC al livello idoneo all'attuazione del carico. L'uscita di tale componente è infatti collegata al condensatore di accumulo e al VD che gestiscono le fasi di carica e di abilitazione del carico. Anche in questo caso il tempo di funzionamento del carico dipende dall'isteresi del VD ed il circuito esibisce un funzionamento ripetitivo ed asincrono. La differenza con il circuito precedente sta nella scelta del convertitore DC/DC. Nella tipologia realizzata il circuito flyback a bassissimo consumo utilizzato per la singola MFC viene sostituito da un componente commerciale che ha dei consumi decisamente più alti. Tale scelta è dettata dal fatto che questo componente ha un'efficienza molto alta relativamente ai convertitori per bassa tensione e ha un'elevata capacità di erogazione di corrente in uscita, molto rilevante per quanto riguarda la frequenza di attuazione del carico.

In Fig. 2.1.2.e è riportata la fotografia del circuito stampato (PCB) di SEH realizzato per sfruttare l'energia di 10 MFC connesse in parallelo.

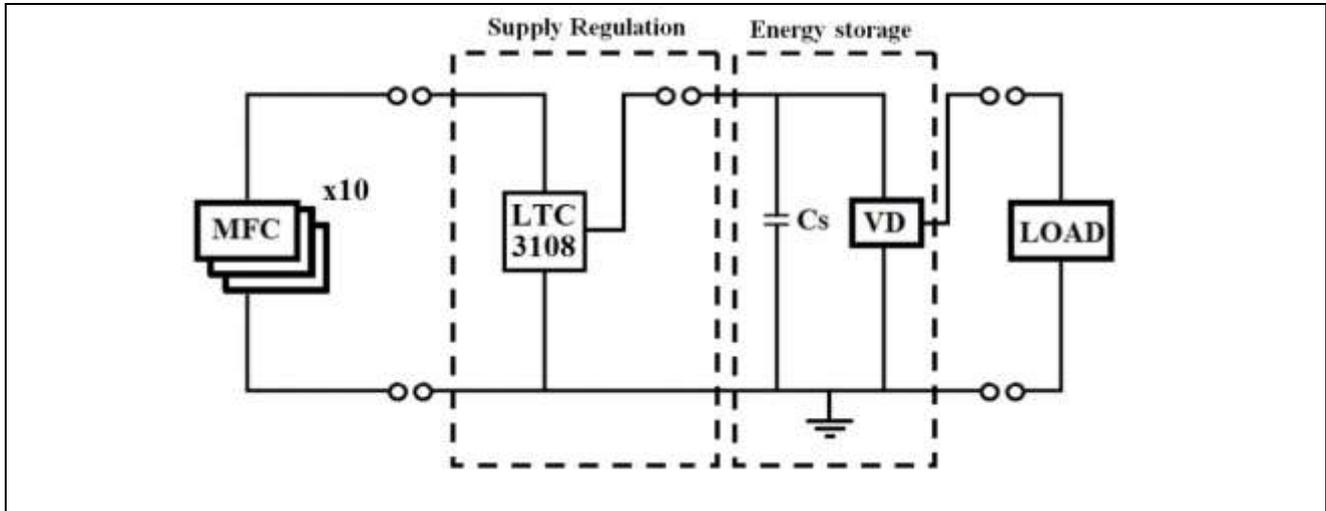


Fig 2.1.2.d Schema circuitale di un sistema elettronico alimentato tramite 10 MFC connesse in parallelo.

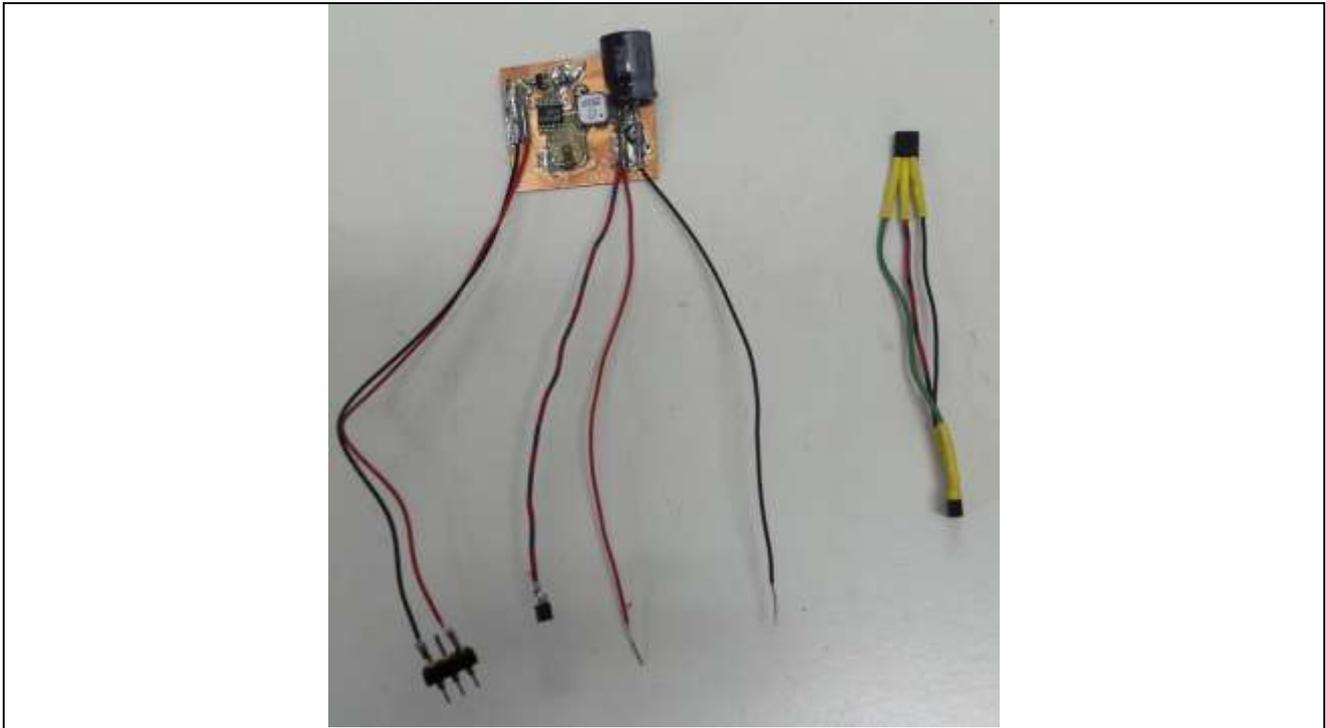


Fig 2.1.2.e Realizzazione su PCB del sistema elettronico alimentato da 10 MFC connesse in parallelo.

In Fig. 2.1.2.f è riportato il circuito per l'acquisizione e trasmissione wireless di dati riguardanti la temperatura ambiente e la potenza generata dall'harvester basato su microcontrollore (MCU), mentre in Fig. 2.1.2.g è riportata la fotografia del relativo circuito stampato.

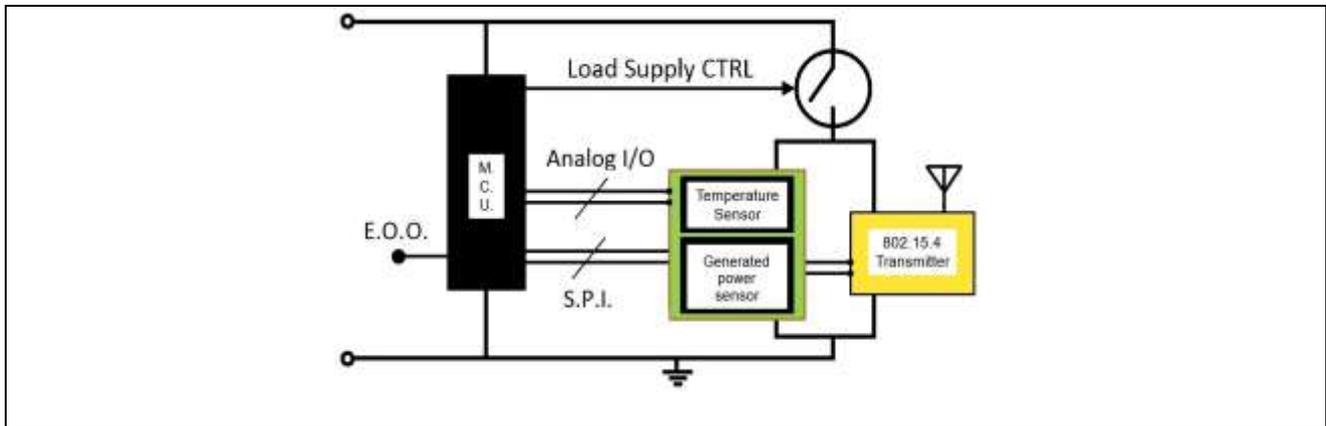


Fig 2.1.2.f Implementazione del carico con trasmettitore wireless.

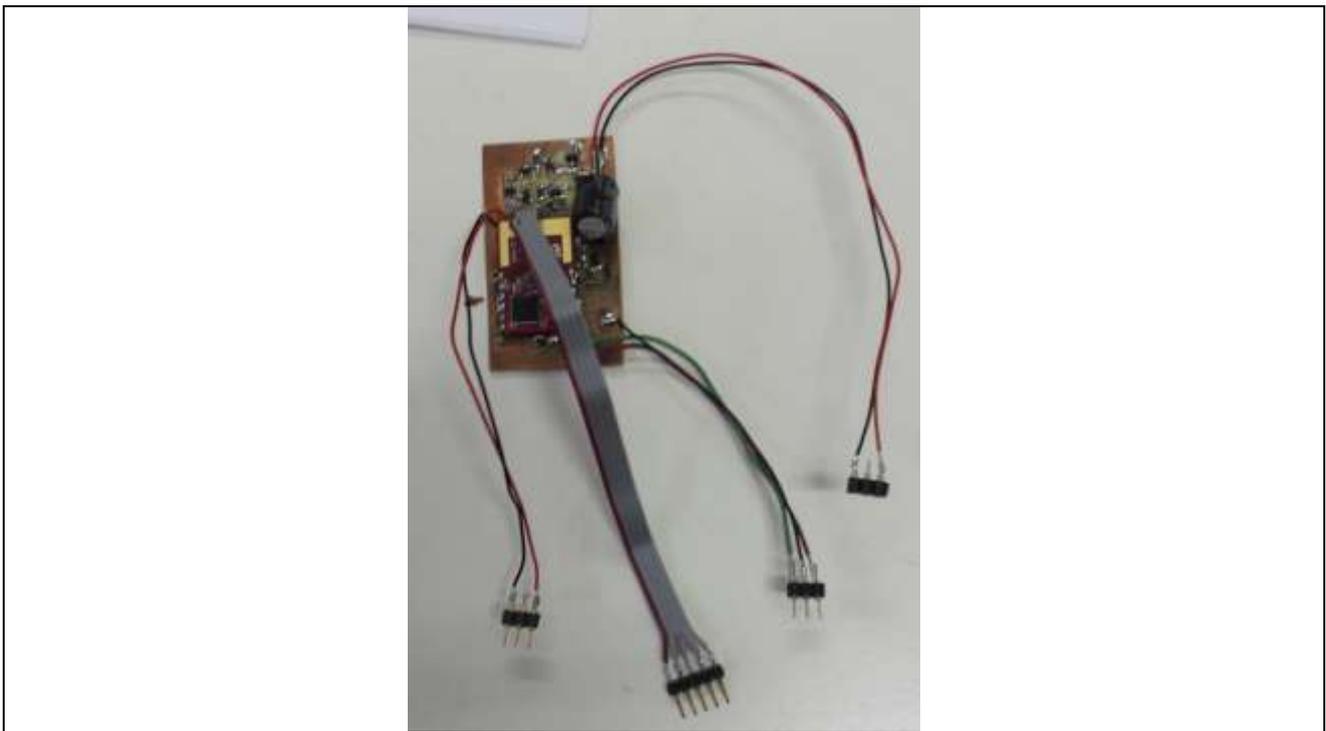


Fig 2.1.2.g Realizzazione su PCB del carico elettronico.

Il circuito basato su MCU integra un sensore di temperatura ed un sensore in grado di misurare la potenza generata dalla MFC o dalla rete di MFC. Il sensore di temperatura utilizzato è un componente commerciale low-voltage, l'Analog Devices® TMP36. La sua uscita analogica viene

acquisita tramite l'ADC dell'MCU e l'informazione viene trasmessa tramite un modulo wireless. Sia nel caso del circuito con la singola MFC che nel caso del parallelo delle celle, il sensore di potenza generata effettua una stima della stessa basandosi sulla tensione di esercizio della cella. Infatti sia l'LTC3108 che l'oscillatore di Armstrong presentano una resistenza di ingresso pressoché costante nel range di funzionamento dei due circuiti e quindi, in base a questo dato, a partire dalla tensione di esercizio dell'harvester è possibile ricavare la potenza istantaneamente generata dallo stesso. Anche in questo caso la tensione di esercizio dell'harvester viene acquisita tramite l'ADC dell'MCU e l'informazione viene trasmessa tramite il modulo wireless. Per quanto riguarda il circuito alimentato dalle MFC in serie, realizzato nella prima fase del progetto, il sensore di potenza generata stima la potenza media erogata dalla MFC, in base alla frequenza di accensione dell'MCU. Infatti la frequenza di attuazione del carico è proporzionale alla potenza erogata secondo l'equazione:

$$f = \frac{P_{IN} - P_C}{\frac{W_{load}}{\eta}}$$

dove P_{IN} rappresenta la potenza media erogata dall'harvester, P_C la Potenza consumata dal PMS durante la fase di precarica della capacità, W_{load} l'energia per una singola operazione del carico e η l'efficienza globale del PMS. Nel caso del PMS senza voltage step-up, realizzato per gestire le celle in serie, l'efficienza è molto alta e si può considerare costante in tutte le regioni di funzionamento del SEH. Quindi, a partire dalla frequenza di attuazione del carico è possibile risalire alla potenza media generata dalla cella. Il dato sulla frequenza di attuazione viene acquisito tramite l'utilizzo di un timer ultra-low-power integrato nell'MCU. La frequenza media viene calcolata memorizzando dati successivi di distanza temporale tra le varie accensioni dell'MCU, nell'EEPROM dello stesso.

L'acquisizione delle informazioni riguardanti la potenza elettrica istantaneamente generata dalle celle e dei parametri ambientali come la temperatura avviene tramite un circuito di ricezione wireless con interfaccia USB ed un PC. A tale scopo è stata creata una applicazione ad hoc per ambiente Windows, in grado di mostrare a video i dati istantaneamente acquisiti e di generare un file di log per il trattamento successivo delle informazioni. In Fig. 2.1.2.h vengono mostrati il circuito ricevitore e lo screenshot dell'applicazione realizzata.

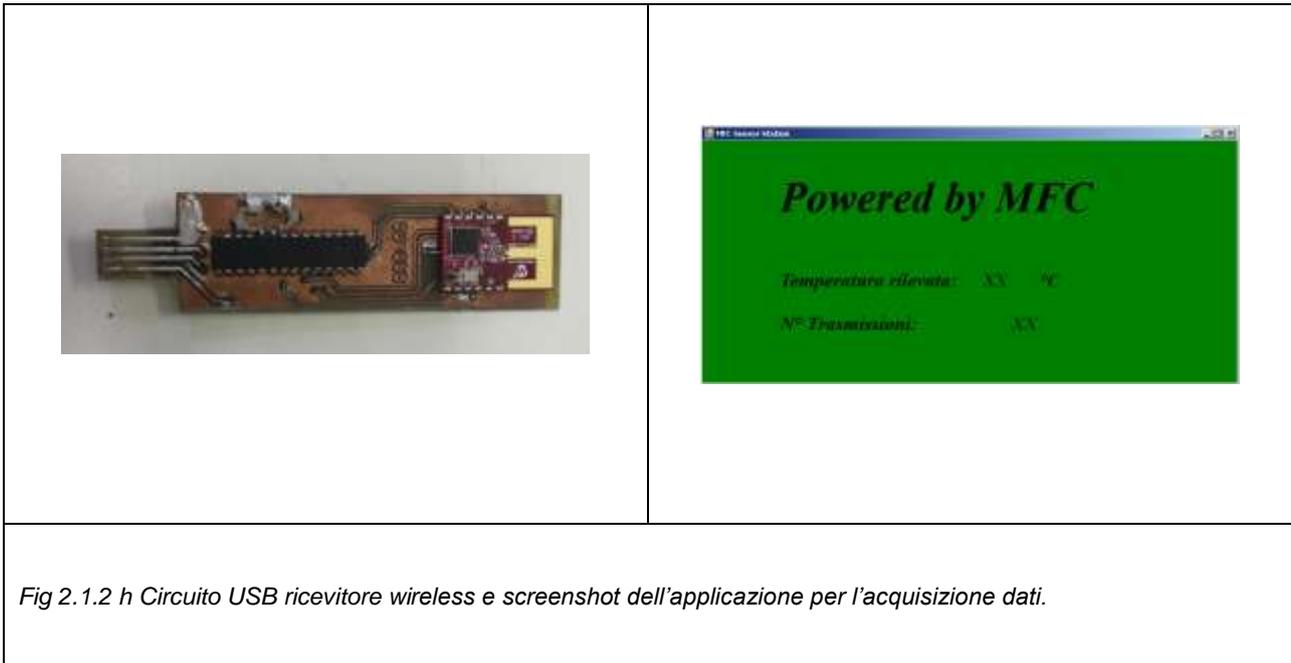


Fig 2.1.2 h Circuito USB ricevitore wireless e screenshot dell'applicazione per l'acquisizione dati.

I circuiti realizzati sono stati testati presso il depuratore di Nosedo, dove sono installati alcuni prototipi di celle microbiche. In Fig. 2.1.2.i è riportata una fotografia dove sono visibili alcune delle MFC attualmente in funzione in una delle vasche dell'impianto. Le celle sono state utilizzate sia singolarmente, collegando il circuito progettato per la singola MFC, sia in parallelo tra loro con il circuito progettato per lo scopo. In entrambi i casi le prestazioni ottenute sono risultate soddisfacenti, per entrambi i carichi scelti. Con il circuito a led si è ottenuta una frequenza di flash dell'ordine di alcuni secondi, a seconda della dimensione e del numero di celle utilizzate. Per quanto riguarda il trasferimento di dati wireless la frequenza di trasmissione è dell'ordine di pochi minuti: questa frequenza è adatta per il monitoraggio e la gestione di un sistema di MFC.



Fig 2.1.2.i Prototipi di celle microbiche presso il depuratore di Nosedo

2.2 Studio di fattibilità e progetto di un prototipo di digestore anaerobico di rifiuti e/o sottoprodotti combinato a tecnologia bio-elettrochimica

2.2.1 Digestione anaerobica: descrizione processo e produzione di biogas

La digestione anaerobica della materia organica è una tecnologia complessa che coinvolge differenti gruppi batterici che vivono in associazione sintropica. Il processo consta di diverse reazioni simultanee, catalizzate dai microrganismi, nelle quali i composti passano attraverso differenti stati di ossidazione fino ad essere convertiti in metano ed anidride carbonica (Mata-Alvarez, 2003). Nella Fig.2.2.1a è riportato uno schema generale semplificato del processo, che

non tiene conto della presenza di altri ceppi batterici quali i solfato e nitrato riduttori. I primi riducono i solfati eventualmente presenti ad H₂S ossidando gli acidi organici a CO₂ o l'idrogeno a ione H⁺. I secondi riducono i nitrati ad N₂ o NH₄⁺ (Tiedje, 1988). Entrambi questi gruppi operano in competizione con i processi riportati in Fig.2.2.1a e comportano quindi una certa riduzione del potenziale di produzione di biogas. Tale riduzione è comunque generalmente trascurabile, a meno di substrati particolarmente ricchi di questi composti. L'idrogeno solforato in forma indissociata, per contro, esplica una azione inibente nei confronti dei metanogeni a concentrazioni molari dell'ordine di 0,002-0,003 (Speece, 1996).

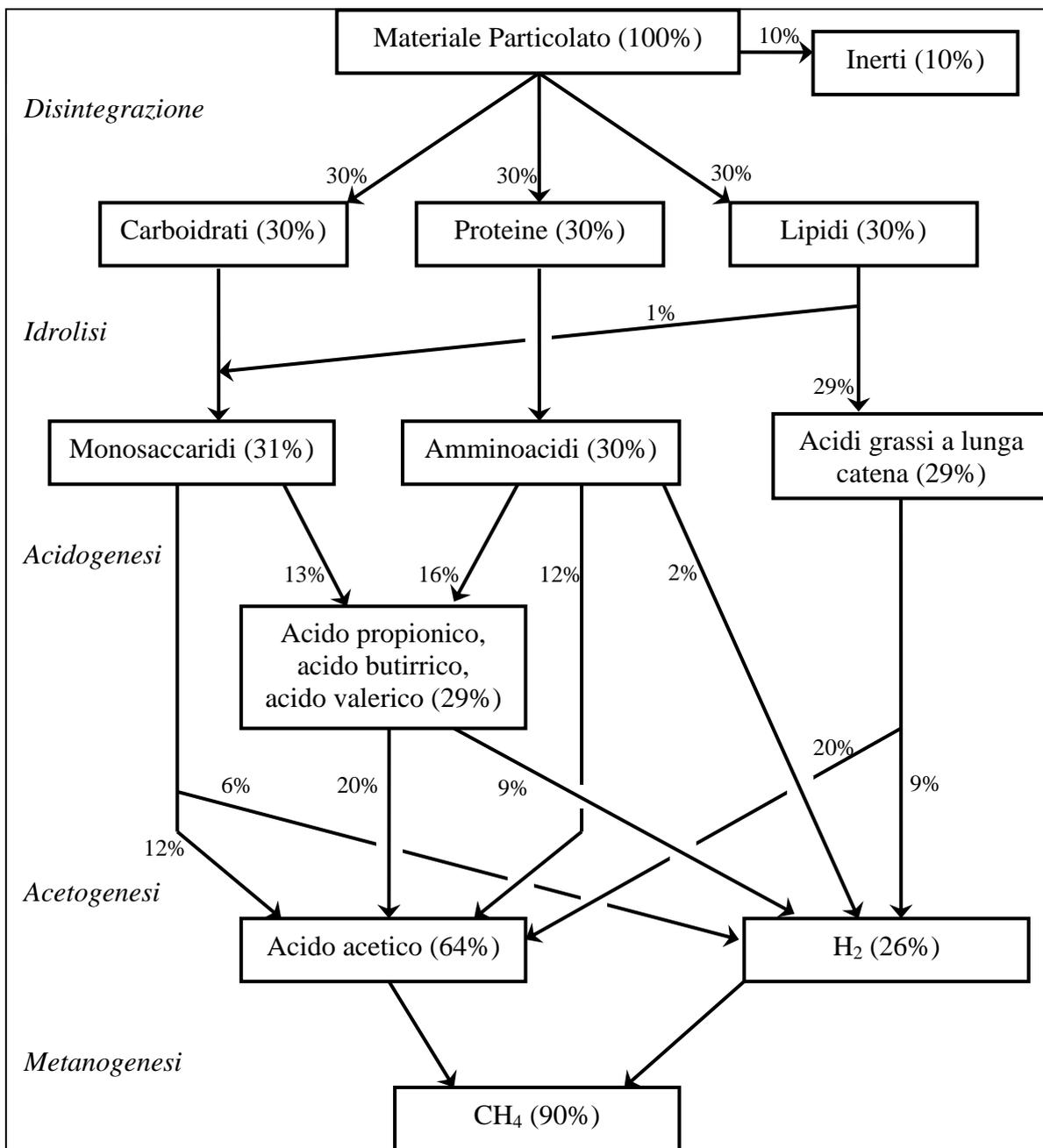


Fig. 2.2.1a - Flusso di massa del COD particolato comprendente una quota del 10% di inerti, e 30% rispettivamente di carboidrati, proteine e lipidi (in termini di COD). Acido propionico (10%), butirrico (12%) e valerico (7%) sono aggregati nella figura per semplicità (IWA, 2002).

Nella Tab 2.2.1a sono riportati i principali ceppi batterici coinvolti nelle diverse fasi. Ai fini dell'applicazione pratica, è di uso comune raggruppare i diversi processi in tre sole fasi: la disintegrazione/idrolisi, che porta alla formazione di monosaccaridi, amminoacidi e ed acidi grassi a lunga catena; l'acidogenesi, che porta alla formazione di acidi grassi volatili e successivamente, acido acetico ed idrogeno; la metanogenesi.

Tab 2.2.1a: successione delle fasi proprie della digestione anaerobica, con specifica dei principali ceppi batterici coinvolti (Gujer e Zehnder, 1983).

Fase	Batteri	Operazione	Principali ceppi
<u>Idrolisi</u>	<u>Idrolitici</u>	<u>Macromolecole organiche</u> ↓ <u>Monomeri solubili</u>	<u>Batteroidi, Clostridium,</u> <u>Ruminococcus, Anaerovibrio,</u> <u>Butyrivibrio, Bacillus</u>
<u>Acidogenesi</u>	<u>Fermentativi</u>	<u>Monomeri solubili</u> ↓ <u>Acidi organici, alcoli, acido acetico, H₂, CO₂</u>	<u>Selonomonas, Clostridium,</u> <u>Ruminococcus,</u> <u>Desulfovibrio,</u> <u>Syntrophomonas,</u> <u>Syntrophobacter</u>
<u>Acetogenesi</u>	<u>Acetogeni</u>	<u>Acidi organici, alcoli</u> ↓ <u>Acido acetico, H₂, CO₂</u>	<u>Eubacterium, Acetogenium,</u> <u>Clostridium</u>
<u>Metanogenesi acetoclastica</u>	<u>Acetoclasti</u>	<u>Acido acetico</u> ↓ <u>CH₄, CO₂</u>	<u>Metanosarcina, Metanotrix,</u> <u>Metanoseta</u>
<u>Metanogenesi idrogenofila</u>	<u>Idrogenofili</u>	<u>CO₂ H₂</u> ↓ <u>CH₄</u>	<u>Metanobacterium,</u> <u>Metanococcus</u>

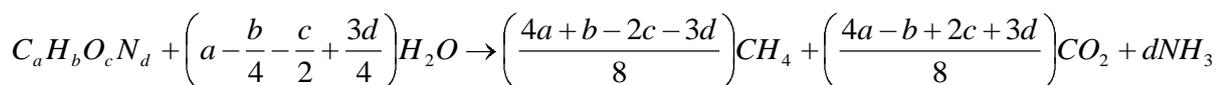
La biodegradazione anaerobica è inoltre regolata da una serie di processi di tipo chimico-fisico, non mediati quindi dalla popolazione batterica, che governano il pH, gli equilibri di dissociazione delle specie disciolte, la precipitazione di sali ed il trasferimento gas-liquido. La conoscenza di questi equilibri e la loro quantificazione hanno una grande importanza, perché essi determinano condizioni che influiscono sulla biodegradazione (pH, concentrazione di CO₂ ed H₂ in fase liquida, maggiori o minori effetti di inibizione causati dalla presenza di ammoniaca libera e acidi organici volatili non dissociati, ecc), il trasferimento dei gas disciolti alla fase gassosa a liquida e i fenomeni di precipitazione, che possono portare nel tempo ad incrostazioni, riduzione del volume utile dei reattori, ecc.

La produzione di biogas è in alcuni casi valutata sulla base di formule parametriche o semi-empiriche, che definiscono la resa biodegradativa oppure direttamente la produzione di biogas. Va osservato che a differenza dei trattamenti aerobici od anossici, per i quali sono ormai da molti anni utilizzati criteri di calcolo e dimensionamento dei processi stabiliti su solide basi cinetiche e

modellistiche, ciò non sempre avviene per i processi di tipo anaerobico. Ne deriva quindi una ampia variabilità dei valori inerenti i principali parametri di dimensionamento e rese di processo. Si aggiunge inoltre la diffusa mancanza di standardizzazione, per esempio, delle forme in cui vengono espresse le rese specifiche del processo per le quali non è sempre concettualmente precisato se i valori prodotti sono di biogas o metano e se le rese sono riferite al substrato alimentato o rimosso.

Durante i processi di trattamento biologico per via anaerobica vengono prodotti diversi tipi di gas, tra i quali: metano, biossido di carbonio, idrogeno solforato, azoto libero. La produzione e composizione del biogas è fortemente dipendente dalla composizione della sostanza organica presente e della sua biodegradabilità in condizioni non limitanti.

Nota la composizione chimica elementare del substrato alimentato, la composizione del biogas è stimabile in ragione della seguente relazione stechiometrica, tralasciando la produzione di biomassa:



La produzione di metano e di biossido di carbonio è di norma assolutamente predominante rispetto agli altri gas, come si può osservare dai valori medi riportati in Tab 2.2.1b.

La produzione di biogas (G_{teor}) per unità di substrato rimosso (espresso come SV) può quindi essere calcolata sulla base della precedente relazione stechiometrica. Ricordando che, in condizioni normali, ad una mole di qualsiasi gas corrisponde un volume di 22,414 NI e tenendo conto dei pesi molecolari di carbonio, idrogeno, ossigeno ed azoto, il volume di biogas prodotto per unità di solidi volatili degradati risulta:

$$G_{teor} \left[\frac{m_n^3}{kg_{VS}} \right] = \frac{\left[\left(\frac{4a + b - 2c - 3d}{8} \right) + \left(\frac{4a - b + 2c + 3d}{8} \right) \right] \cdot 22,414}{12 \cdot a + 1 \cdot b + 16 \cdot c + 14 \cdot d} = \frac{a \cdot 22,414}{12 \cdot a + 1 \cdot b + 16 \cdot c + 14 \cdot d} \quad (16)$$

di cui il volume di metano è pari a:

$$G_{teor,CH_4} \left[\frac{m_n^3}{kg_{VS}} \right] = \frac{\left(\frac{4 \cdot a + 1 \cdot b - 2 \cdot c - 3 \cdot d}{8} \right) \cdot 22,414}{12 \cdot a + 1 \cdot b + 16 \cdot c + 14 \cdot d} \quad (17)$$

Ne risulta una frazione in volume di metano nel biogas prodotto pari a:

$$P_{CH_4} \left[\frac{m_{n,CH_4}^3}{m_{n,biogas}^3} \right] = \frac{G_{teor,CH_4}}{G_{teor}} = \frac{4a + b - 2c - 3d}{8a} \quad (18)$$

Essa aumenta con il rapporto H/C nei solidi volatili e diminuisce con l'aumentare dei rapporti O/C e N/C. Ciò è osservabile anche mediante il confronto fra la composizione e la produzione di biogas dei differenti composti presentati in Tab 2.2.1b. Ciò vale per un sistema che abbia raggiunto l'equilibrio, mentre in condizioni transitorie un aumento della percentuale di CO₂ nel biogas indica in generale una prevalenza della fase fermentativa rispetto a quella metanigena. Inoltre, la composizione effettiva può discostarsi da quella teorica anche per effetto della diversa solubilità dei gas, elevata per l'anidride carbonica e molto minore per il metano minore.

Tab 2.2.1b: *Composizione media del biogas*

componente	% in volume
Metano (CH ₄)	55-60 (50-75)
Anidride carbonica (CO ₂)	35-40 (25-45)
Vapore Acqueo (H ₂ O)	2 (20°C) - 7 (40°C)
Idrogeno Solforato (H ₂ S)	0,02 - 2%
Azoto (N ₂)	<2
Ossigeno (O ₂)	<2
Idrogeno (H ₂)	<1

Un analogo bilancio può essere condotto in termini di COD. Sulla base infatti del bilancio di massa:

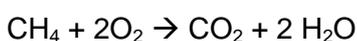
$$COD_{substrato\ rimosso} = COD_{prodotti} + COD_{biomassa}$$

e assumendo trascurabile, in prima approssimazione, il COD della biomassa in ragione delle bassissime rese di crescita, si può scrivere:

$$COD_{substrato\ rimosso} = COD_{prodotti} \text{ (principalmente metano)}$$

La quantità di metano prodotto può essere quindi determinata teoricamente per mezzo di un bilancio di COD (Henze et al., 1995), tenendo conto che il contenuto di COD della sostanza organica biodegradata è trasferito interamente al metano, dato che l'anidride carbonica, non potendo essere ulteriormente ossidata, presenta un COD nullo.

Il COD rappresenta la quantità di ossigeno necessaria per ossidare della sostanza organica in condizioni aerobiche. Nel caso del metano vale la:



da cui si ricava che 1 mole CH₄ è pari a 2 moli O₂ e quindi 16 g CH₄ = 64 g COD. Pertanto, il fattore di conversione teorico tra COD e metano è $v_{\text{COD,CH}_4} = 0.25 \text{ kg}_{\text{CH}_4} \text{ kg}_{\text{CODdegradato}}^{-1}$ che a 0 °C e ad una pressione di 1 atm corrisponde ad un volume di gas metano di $0.35 \text{ Nm}^3_{\text{CH}_4} \text{ kg}_{\text{CODdegradato}}^{-1}$.

Nota o prevista la quantità di COD biodegradato, la corrispondente produzione di metano risulta quindi pari a:

$$r_{v,\text{CH}_4} = \frac{Q_1 \cdot C_1 - C_3}{V_{\text{reattore}}} \cdot v_{\text{COD,CH}_4}$$

dove $r_{v,x}$ è il tasso specifico di rimozione del COD ($\text{kgCOD m}^{-3} \text{ reattore d}^{-1}$), Q_1 è la portata in ingresso ed in uscita ($\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$), C_1 e C_3 sono, rispettivamente, la concentrazione di COD nell'influente e nell'effluente (kgCOD m^{-3}) e V_{reattore} è il volume del reattore (m^3).

Nella maggior parte dei processi anaerobici, il 90-95% del COD rimosso può essere recuperato come metano, mentre la restante parte si ritrova sottoforma di produzione di fango.

Quando la massa organica da trattare contiene una prevalente frazione organica solida rispetto a quella liquida, i calcoli vengono di norma effettuati sulla base dei solidi volatili SV. In funzione della composizione del substrato esistono dei valori medi di riferimento del rapporto SV/COD, riportati in Tab.2.2.1c Angelidaki (2002). Per substrati prevalentemente proteici, come i fanghi di depurazione, si utilizza generalmente l'equivalenza 1 kg VS = 1.42 kg COD. Le produzioni massime teoriche di metano si ottengono quindi per i lipidi e sono pari a circa $1 \text{ Nm}^3 \text{ kg}_{\text{SV}}^{-1} \text{ biodegradato}$. Per una matrice a prevalente contenuto proteico e di carboidrati, che presenti una resa di biodegradazione del 50%, le produzioni di metano risultano invece comprese tra 0,2 e $0,25 \text{ kg}_{\text{SV}}^{-1} \text{ alimentato}$.

Tab. 2.2.1c: caratteristiche dei principali substrati solubili (Angelidaki, 2002).

Substrato	Composizione	COD/SV (gCOD gSVbio ⁻¹)	Produzione CH ₄ Nm ³ kg _{SV bio} ⁻¹	Produzione CH ₄ Nm ³ kg _{COD} ⁻¹	% CH ₄
Carboidrati	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n	1.19	0.415	0.35	50
Proteine	C ₅ H ₇ NO ₂	1.42	0.496	0.35	50
Lipidi	C ₅₇ H ₁₀₄ O ₆	2.90	1.014	0.35	70
Etanolo	C ₂ H ₆ O	2.09	0.730	0.35	75
Acido Acetico	C ₂ H ₄ O ₂	1.07	0.373	0.35	50
Acido Propionico	C ₃ H ₆ O ₂	1.51	0.530	0.35	58

Tutte le considerazioni svolte devono ovviamente tenere in considerazione la biodegradabilità del substrato. Il COD inerte, cioè non biodegradabile, oppure quello consumato dai batteri solfato o nitrato riduttori, non è in grado di portare a produzione di metano.

Dunque, il fattore di biodegradabilità è uno dei parametri più importanti di un substrato complesso. Tale fattore determinerà l'effettiva quantità di sostanza organica che potrà essere convertita a biogas.

Al fine di favorire la biodegradabilità del substrato, a monte del processo di idrolisi è necessaria la presenza di una fase di disgregazione della materia particolata organica. Infatti molti substrati organici (FORSU, coltivazioni energetiche, etc.) sono costituiti da materiale solido in forma strutturata non attaccabile direttamente dai batteri.

Inoltre nel caso della FORSU, una volta disgregate le componenti grossolane, solo una piccola frazione di queste sarà rappresentata da composti degradabili come carboidrati, grassi e proteine, mentre una parte sarà costituita da composti di natura lignocellulosica. Rifiuti lignocellulosi con alti contenuti di lignina avranno una produzione di biogas estremamente contenuta; per questo motivo, sarebbero più indicati in questo caso trattamenti aerobici quali ad esempio il compostaggio. Questo discorso assume importanza anche nell'ambito delle coltivazioni energetiche.

Ciò è da tenere in considerazione all'atto del dimensionamento di un impianto di digestione anaerobica; infatti, bisogna valutare l'effettiva biodegradabilità del COD che viene quantificato analiticamente (attraverso la misura del BMP: Biochemical Methane Potential). Maggiore sarà la quantità di sostanza organica inerte presente nella matrice in ingresso, minore sarà la produzione di biogas. Tuttavia, un'adeguata azione di riduzione della pezzatura, di sfibratura e miscelazione con acqua, nonché un continuo rimescolamento della matrice al fine di favorire il contatto con la biomassa possono facilitare l'azione dei batteri idrolitici e quindi incrementare la biodegradabilità della matrice.

2.2.2 Tipologie e classificazione degli impianti di digestione anaerobica

I processi anaerobici controllati per la produzione di biogas, e quindi energia, da rifiuti organici, possono essere suddivisi secondo i seguenti criteri:

- regime termico:
 - Psicrofilia (20°C) (poco utilizzato industrialmente);
 - Mesofilia (35-40°C);
 - Termofilia (55°-60°C);
- contenuto di solidi nel reattore:
 - Processo umido (5-8% solidi totali);
 - Processo semi-secco (solidi totali 8-20%);
 - Processo secco (solidi totali > 20%).

- fasi biologiche:
 - Unica: l'intera catena di processi biochimici è mantenuta in un singolo reattore;
 - Separate: le fasi idrolitica e fermentativa (acidogenica) sono separate da quella metanogenica.
- modalità operativa:
 - Reattore continuo miscelato (CSTR) o con flusso a pistone (plug-flow);
 - Reattore batch (o discontinuo).

La scelta dell'uno o dell'altro dei processi possibili e delle diverse configurazioni impiantistiche dipende essenzialmente dalle caratteristiche del substrato da trattare.

Con specifico riferimento alla frazione organica dei rifiuti solidi urbani, questa può provenire da selezione meccanica di rifiuto indifferenziato (SM-FORSU), da raccolta separata, come nel caso di rifiuti da mercati orto-frutticoli, mense, ristorazione ecc... (RS-FORSU) o da raccolta alla fonte,

come nel caso delle raccolte porta a porta (RF-FORSU). Sebbene, storicamente, il rifiuto separato meccanicamente, sia uno dei principali substrati utilizzati in digestione anaerobica, è dimostrato che esso non è di fatto idoneo a tale trattamento: impianti che hanno trattato questo materiale hanno spesso dovuto essere fermati per problemi di natura meccanica oppure per bassa efficienza. Si consiglia quindi l'utilizzo di FORSU da raccolta differenziata porta a porta.

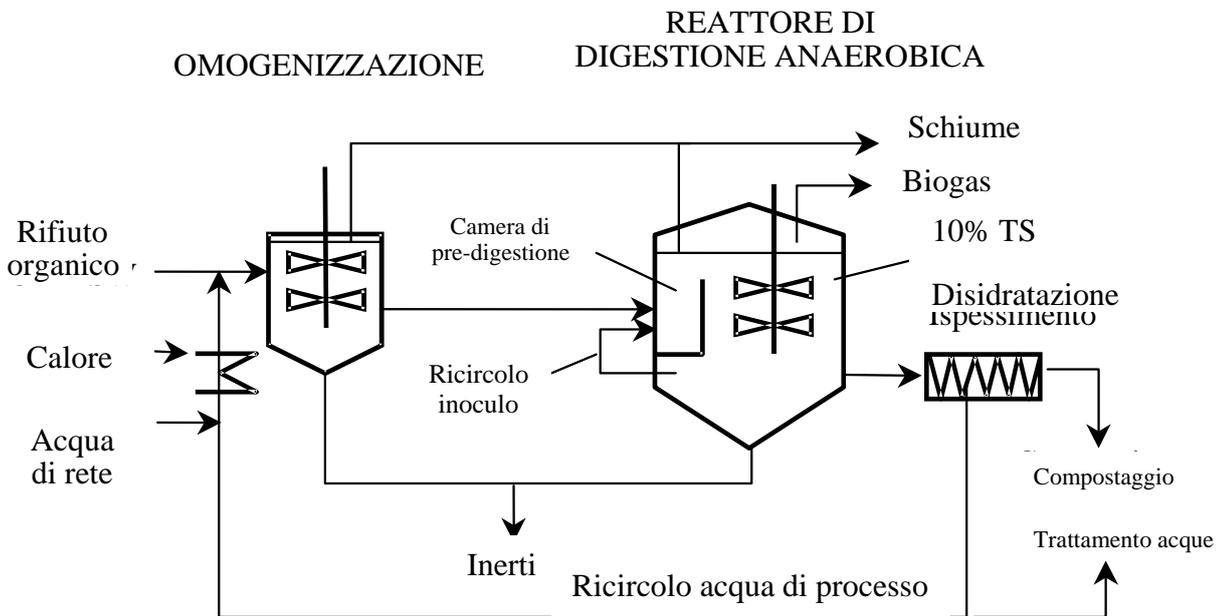
Vengono di seguito descritti i reattori a umido, i reattori a secco, i reattori a due fasi e i reattori batch.

Digestori a umido (tipo wet)

Il processo a umido è stato il primo ad essere utilizzato nel trattamento della frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU) dal momento che sfruttava le conoscenze acquisite in decenni di attività nel processo di digestione anaerobica dei fanghi di supero negli impianti di trattamento per le acque reflue. Nei processi di tipo wet il rifiuto di partenza viene opportunamente trattato e diluito al fine di raggiungere un tenore in solidi totali inferiore al 10% attraverso il ricorso a diluizione con acqua così da poter poi utilizzare un classico reattore completamente miscelato del tipo applicato nella stabilizzazione dei fanghi biologici negli impianti di depurazione. In generale, il processo prevede, dopo la fase di pre-trattamento del rifiuto, finalizzata alla rimozione di plastiche ed inerti (vetro, metalli, sassi) e di corpi grossolani che potrebbero danneggiare gli organi meccanici del reattore, uno stadio di miscelazione (effettuata con pulper) in cui si ottiene una miscela con caratteristiche omogenee e l'opportuno contenuto in solidi. La diluizione può avvenire tramite

aggiunta di acqua di rete o dal parziale ricircolo dell'effluente del reattore. La Fig 2.2.2a riporta un tipico schema di processo ad umido.

Fig. 2.2.2a: Tipico schema di processo wet a fase singola - (Bolzonella et al. 2008)



A causa delle caratteristiche fisiche dei rifiuti trattati non è solitamente possibile ottenere una miscela omogenea e pertanto si osserveranno all'interno del reattore, per quanto ben miscelato, tre fasi separate, caratterizzate da distinte densità. La frazione più pesante tenderà ad accumularsi sul fondo del reattore e può determinare danni nel sistema di miscelazione se il rifiuto trattato non è sufficientemente pulito, mentre materiali leggeri e schiume si accumulano nella parte superiore del reattore. La fase a densità intermedia è quella in cui avvengono per lo più le effettive reazioni di degradazione e produzione del biogas. Nella gestione di impianto sono generalmente previste saltuari fermo-impianto per la rimozione sia dello strato più pesante, presente sul fondo del reattore, che di quello leggero. Per evitare tali interventi è consigliabile prevedere una fase di pretrattamento spinta (con pulper) abbinata a separazione di tutto il materiale leggero e pesante.

Il reattore singolo miscelato a umido è poi particolarmente indicato per i processi di co-digestione di fanghi di depurazione e altri rifiuti: in questo caso si possono sfruttare strutture già esistenti (se di potenzialità e servizi idonei allo scopo) in impianti per il trattamento delle acque reflue. Questo tipo di esperienza è applicata in impianti come quelli di Treviso o di Viareggio. Si tratta quindi di esperienze già consolidate, estendibili in tutti i casi in cui siano disponibili substrati ad elevata biodegradabilità al fine di migliorare i bilanci termici e/o energetici della linea fanghi dell'impianto di

depurazione, a patto ovviamente che la linea acque sia in grado di sopportare i carichi derivanti da questo secondo substrato.

Digestori a secco (tipo dry)

Nel corso degli anni ottanta varie sperimentazioni dimostrarono come, oltre ai processi ed alle tecnologie di tipo wet e semi-dry, fosse possibile ricorrere a processi in cui il rifiuto organico veniva trattato nella sua forma originale, senza bisogno di diluizioni. Quindi, mentre prima gli impianti di digestione anaerobica erano esclusivamente di tipo wet, nell'ultimo decennio si è osservata la crescita del sistema dry, e le nuove realizzazioni sono per circa due terzi composte da impianti dry (De Baere, 2014).

Nei processi dry il tenore in solidi del rifiuto alimentato al digestore è generalmente nell'intervallo 25-40% e pertanto solamente particolari rifiuti con elevato tenore di solidi (>50%) necessitano di essere diluiti con acqua per poter essere convenientemente trattati. Ciò non comporta significative variazioni dal punto di vista biochimico e microbiologico nel processo anaerobico ma determina la necessità di una completa revisione dei metodi di trattamento per quanto concerne la tecnologia dei reattori. Sono infatti necessari particolari metodi di pompaggio e miscelazione. Infatti, a causa delle proprietà reologiche dei flussi trattati, il materiale organico viene trasportato con nastri e pompato attraverso il ricorso a speciali pompe appositamente progettate per operare con flussi molto viscosi. Ciò incide sui costi di realizzazione di questo tipo di impianti. Questi sistemi sono in grado di operare con flussi di materiale molto concentrati e resistono ai possibili problemi causati da sassi, vetro o legno che non causano inceppamenti o danni. L'unico pre-trattamento richiesto è una preliminare vagliatura al fine di rimuovere il materiale con dimensioni superiori ai 40 mm. Ciò è ottenuto grazie a vagli a tamburo nel caso di rifiuto organico separato meccanicamente, e mediante trituratori nel caso di rifiuto organico raccolto separatamente alla fonte. Di fatto, essi lavorano al meglio operando con FORSU da raccolta separata o alla fonte eventualmente integrata con altre matrici di rifiuto (ad es., verde da manutenzione di aree pubbliche o da sfalcio) al fine di ottenere tenori in solidi nell'alimentazione superiori al 25% di sostanza secca.

A causa della elevata densità e viscosità dei flussi trattati i reattori per il trattamento dry non sono del tipo completamente miscelato (CSTR) ma con flusso parzialmente o totalmente a pistone (plug-flow): ciò rende i reattori più semplici dal punto di vista meccanico ma comporta problemi di miscelazione tra il rifiuto organico fresco e la biomassa fermentante e soprattutto rese specifiche di produzione di biogas inferiori dei processi a umido.

Le principali tecnologie presenti sul mercato ed i processi adottati per questo tipo di rifiuti si differenziano essenzialmente per la fluidodinamica del reattore utilizzato. La Fig 2.2.2b riporta alcune possibili soluzioni impiantistiche.

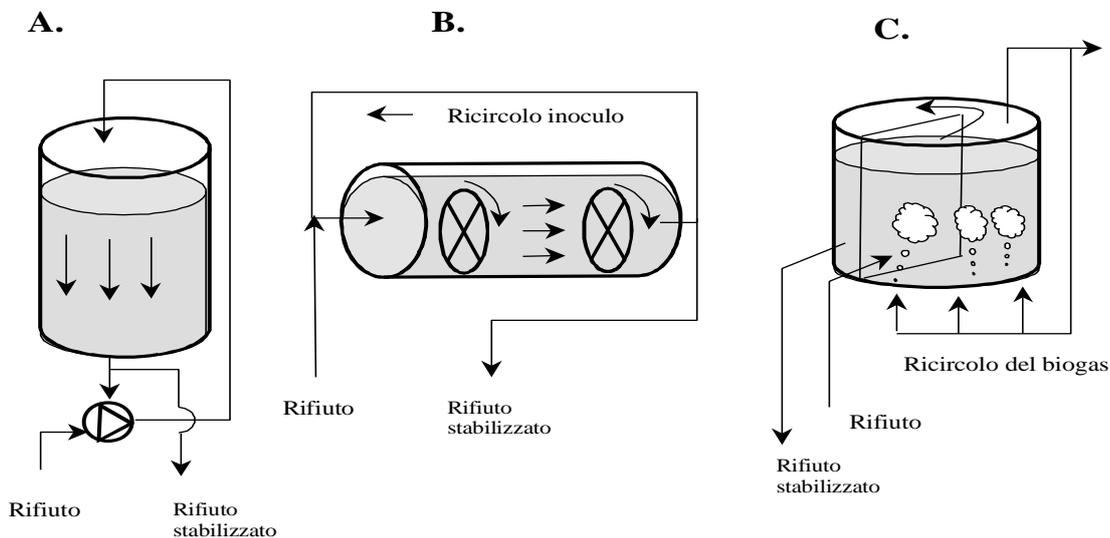


Fig. 2.2.2b: *Differenti tipologie di reattore nei sistemi dry (A = processo Dranco; B = processo Kompogas; C = processo Valorga) - (Bolzonella et al. 2008)*

Nel processo Dranco la miscelazione tra rifiuto influente e biomassa avviene grazie al ricircolo dell'effluente estratto dal fondo dal digestore anaerobico che viene pompato nella parte superiore del reattore stesso: il tipico rapporto di ricircolo è una parte di rifiuto fresco per sei parti di effluente ricircolato. Questo tipo di processo ha dimostrato di operare con efficacia con rifiuti con un tenore in solidi nell'intervallo 25-50%.

Il processo Kompogas utilizza un reattore cilindrico in cui il flusso a pistone prosegue orizzontalmente. Il moto di avanzamento del materiale trattato è assistito da miscelatori a lenta rotazione posti internamente al reattore che omogeneizzano il materiale trattato, lo degasano, e risospendono il materiale inerte grossolano. Il sistema ha dimostrato di operare con buona efficienza quando il rifiuto trattato presenta concentrazioni in solidi del 25%: per valori inferiori si è osservata la tendenza all'accumulo di materiale inerte grossolano (sabbie e vetro) sul fondo del reattore, mentre per concentrazioni maggiori si osserva una eccessiva resistenza al flusso orizzontale del materiale all'interno del reattore.

Un altro processo dry, molto diffuso in centro Europa ed ora anche in Italia, è il processo Valorga. Anche in questo caso si ricorre a reattori di forma cilindrica in cui il flusso a pistone del materiale trattato è di tipo circolare e la miscelazione avviene grazie all'iniezione di biogas dal fondo del reattore attraverso una serie di iniettori ogni 15 minuti circa. La miscelazione sembra avvenire con

notevole efficacia dal momento che il ricircolo di parte dell'effluente si è dimostrato non necessario. D'altra parte gli iniettori di biogas, a causa della loro posizione, possono essere soggetti a problemi di intasamento. Come nel caso del processo Kompogas c'è la necessità di ricolare l'acqua di processo al fine di raggiungere una concentrazione di sostanza solida del 30% nel rifiuto da trattare. Per contro, concentrazioni più basse, fino al 20% TS, determinerebbero seri problemi di accumulo di materiale inerte sul fondo del reattore.

Dal punto di vista economico si evidenzia come nel caso dei processi di tipo dry gli elevati costi di investimento iniziale sono dovuti alla necessità di dotarsi di sistemi di trasporto e pompaggio del rifiuto organico da trattare che siano particolarmente resistenti e tecnologicamente avanzati. Per contro, operando con rifiuti ad elevata concentrazione di sostanza solida, non sono necessari pre-trattamenti particolarmente raffinati ed i volumi dei reattori necessari sono ridotti. La ridotta dimensione del reattore si ripercuote poi favorevolmente in fase di esercizio sul bilancio energetico del reattore, dal momento che è necessario riscaldare una minor quantità di rifiuto da trattare. Una differenza fondamentale tra i processi di tipo dry e quelli di tipo wet consiste nel ridotto utilizzo, nel caso di processi dry, di acqua per la diluizione dei rifiuti. Ne consegue che la quantità di acqua di scarico sarà ridotta. La qualità dell'eventuale compost prodotto a seguito dei processi a secco è però inferiore e il compost meno omogeneo che nei sistemi a umido.

Digestori a due fasi

Gli impianti a due fasi prevedono la separazione fisica della fase idrolitica e fermentativa dalla vera e propria fase metanigena. I due processi avvengono infatti in reattori separati e risulta quindi possibile ottimizzare le condizioni di processo per le due fasi singolarmente. Dal momento che i processi vengono separati ed avvengono in condizioni ottimali le rese del processo in termini di degradazione della sostanza biodegradabile e di produzione di biogas sono ottimizzate (è possibile operare le due fasi a temperature differenti). Nella prima fase si osserverà quindi la fase di idrolisi ed acidogenesi secondo una cinetica di primo ordine limitata dalla presenza di cellulosa, mentre la seconda fase è deputata alla acetogenesi e metanogenesi.

Si è comunque osservato che, nonostante i maggiori sforzi in termini tecnologici e di investimenti, molto spesso i sistemi a due fasi non consentono incrementi delle rese, in termini di produzione di biogas, tali da giustificare i maggiori costi di investimento e di gestione. Il maggior vantaggio consiste, piuttosto, nella capacità di trattare alcuni tipi particolari di rifiuto organico che vengono in genere evitati nei sistemi a fase unica, quali ad esempio particolari residui agro-industriali o zootecnici che presentano rapporti C/N < 20. I processi a due stadi possono essere operati con o

senza ritenzione della biomassa nel secondo stadio del processo. A seconda di questa particolarità costruttiva si hanno diverse rese del processo.

Digestori batch

Nei processi batch, il reattore di digestione viene riempito con materiale organico ad elevato tenore di sostanza solida (30-40% TS), in presenza o meno di inoculo, e viene quindi lasciato fermentare. Il percolato che si produce durante il processo degradativo viene continuamente ricircolato. La temperatura del processo risulta elevata. Attualmente i processi batch non sono molto diffusi sul mercato, ma data la loro economicità e semplicità potrebbero in futuro trovare applicazione. Il processo opera di per se stesso per fasi successive. Si ha dapprima una fase idrolitica ed acidogenica, seguita da una fase in cui gli acidi grassi volatili vengono trasformati in metano.

Nel reattore batch con ricircolo del percolato il percolato viene ricircolato in testa al reattore. Uno dei problemi in questo tipo di reattori è connesso con la possibilità che si otturino i fori posti sul fondo del reattore oltre che perdite di biogas al momento della apertura delle celle e degradazione non completa del processo. In alcune soluzioni il percolato prodotto nel reattore di digestione viene inviato ad un reattore di tipo Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) per completare la degradazione e recuperare ulteriore biogas.

2.2.3 Criteri di dimensionamento

Come per ogni processo biologico, un dimensionamento adeguato deve garantire contemporaneamente che:

- il tempo di residenza cellulare del sistema o età del fango sia superiore, con adeguato coefficiente di sicurezza, del tempo di generazione della biomassa a più lenta crescita nelle condizioni operative di processo. Questa è la condizione indispensabile, atta a garantire il mantenimento della biomassa batterica all'interno del reattore. Il tempo di generazione è definito come l'inverso della crescita netta, data dalla differenza tra la crescita e la scomparsa cellulare;
- la capacità metabolica del reattore – cioè la quantità di substrato degradabile per unità di volume del reattore e per unità di tempo - deve essere superiore, nuovamente con un adeguato fattore di sicurezza, rispetto al carico di substrato alimentato nell'unità di tempo per unità di volume del reattore.

Nel caso di substrati particolati, che richiedono una preventiva fase di disgregazione ed idrolisi, è anche necessario che il tempo di permanenza del substrato nel reattore sia adeguato a conseguire il completamento di tali processi.

Il tempo limitante di generazione è ovviamente dipendente dal substrato. Per i substrati più semplici (glucosio, acido acetico) e in condizioni mesofile (35-38°C), esso è dell'ordine di 1,5 – 3,2 giorni. Tenendo conto della complessità del processo anaerobico, si utilizzano fattori di sicurezza elevati e spesso superiori a 10, risultando quindi in tempi di residenza cellulare operativi superiori a 20 – 30 giorni (Speece, 1996).

Come visto, la degradazione anaerobica coinvolge molti processi contemporanei, ciascuno caratterizzato da un proprio metabolismo e da proprie cinetiche di degradazione e rese di conversione. In un reattore a fase unica è quindi necessario mantenere condizioni che ottimizzino il processo complessivo e soddisfino i fabbisogni dei diversi consorzi. Risulta impossibile, come descritto in precedenza, operare in un reattore unico in condizioni tali da ottimizzare ogni singola fase, come invece risulta possibile – per lo meno in una certa misura - prevedendo una separazione delle fasi.

I metodi di dimensionamento più comuni sono basati su criteri parametrici e semi-empirici basati che controllano il carico volumetrico alimentato, C_V ($\text{kgCOD m}^{-3}\text{giorno}^{-1}$ o $\text{kgSV m}^{-3}\text{giorno}^{-1}$) e il tempo di residenza idraulico. Nei numerosi sistemi anaerobici che non prevedono separazione e ricircolo della biomassa, questo coincide con il tempo di residenza cellulare. Esistono in letteratura numerosi riferimenti per questi parametri e per i substrati più comunemente destinati a digestione anaerobica, sempre però caratterizzati da ampi intervalli di valori. In mancanza di dati di riferimento, questi parametri possono venire ricavati con procedure sperimentali più semplici di quelle richieste per la caratterizzazione cinetica completa del processo, valutando i livelli di rimozione del substrato organico e la capacità di metanizzazione, al variare del carico applicato. Studiando i dati di impianti esistenti alimentati con FORSU, per quanto riguarda i tempi di ritenzione idraulica, HRT, si nota che i valori più frequenti sono prossimi, o superiori, al valore minimo di letteratura di 20 giorni. Negli impianti di trattamento termofilo (50-55°C) gli HRT sono ridotti a valori anche inferiori a 20 giorni. L'OLR negli impianti a umido risulta mediamente compreso tra 2 e 4 $\text{kgVS/m}^3\text{d}$, anche se soggetto ad estrema variabilità con tendenza a spostarsi verso valori intorno a 5 $\text{kgVS/m}^3\text{d}$ per quanto riguarda gli impianti operanti in termofila. Impianti a secco consentono carichi organici maggiori, ma come già detto garantiscono produzioni specifiche di biogas per ogni tonnellata di rifiuto trattato inferiori degli impianti a umido.

2.2.4 Produzione di biogas attesa da rifiuti e sottoprodotti

Lo studio e la misura della degradabilità anaerobica hanno assunto nei recenti anni un notevole rilievo. Infatti, con l'introduzione di incentivi alla produzione di energia elettrica da biogas, si sono

moltiplicate in Italia le iniziative per la realizzazione o il potenziamento di impianti di digestione anaerobica, con particolare dinamismo in alcune aree, come la provincia di Cremona.

In questo contesto, la conoscenza della degradabilità anaerobica di una matrice, ovvero della quantità di metano e biogas che può ottenersi da una data unità di peso, rappresenta ciò che in campo termotecnico è il potere calorifico di un combustibile: l'energia lorda che dal processo – di biodegradazione nel caso della digestione anaerobica, di combustione nei processi termici – può ottenersi.

Se per alcuni aspetti, ad esempio il dimensionamento del gasometro e delle tubazioni di raccolta e trasporto, è importante conoscere la quantità complessiva di biogas producibile, va però tenuto presente che è solo la produzione espressa in termini di metano che fornisce la più chiara e univoca indicazione dell'energia lorda che può ottenersi.

La produzione massima di metano ottenibile per degradazione anaerobica di una sostanza corrisponde al potenziale biochimico di metanazione e viene definita con l'acronimo inglese BMP (Biochemical Methane Potential); esso rappresenta l'indicatore di degradabilità anaerobica di più immediata e diretta correlazione con la quantità di energia ricavabile per via anaerobica da una sostanza organica, in forma appunto di metano.

Questo parametro è alla base della valutazione sull'opportunità di adozione di un processo anaerobico, mirato che sia alla produzione di energia rinnovabile o al trattamento depurativo di una sostanza organica di scarto o, come auspicabile, ai due obiettivi combinati.

Inoltre, questa determinazione può essere molto importante per:

- i progettisti degli impianti di biogas: permette il corretto dimensionamento delle opere e delle attrezzature;
- chi produce o commercializza attrezzature per il pretrattamento delle matrici in alimentazione ai digestori: si evidenzia l'eventuale aumento della resa di produzione di metano;
- chi gestisce gli impianti: per valutare la resa di impianto, la produzione potenziale di metano residua e l'alimentazione con nuove matrici;
- chi commercializza sottoprodotti: consente di formulare e caratterizzare il proprio prodotto ed il relativo prezzo di vendita.

Non è naturalmente questa l'unica informazione necessaria e importante per impostare il progetto di un digestore anaerobico, valutarne la fattibilità tecnica ed economica e operarne una corretta e sostenibile gestione. Tuttavia ne è un elemento fondamentale. Il BMP è la produzione di metano che si osserverebbe dopo un tempo di degradazione infinito ed in condizioni ottimali (assenza di inibizione, inoculo acclimatato, condizioni ambientali ottimali quali: miscelazione, temperatura, pH etc.).

Le prove sperimentali simulano in scala ridotta ciò che avviene in un digestore mettendo a contatto con del fango prelevato da un digestore (inoculo) il substrato da digerire (substrato) in condizioni controllate ed ottimali.



Fig 2.2.4a – Sistemi per la misura del BMP di diversi campioni in parallelo con metodo manometrico (sx) e volumetrico (dx).

Il BMP esprime infatti la massima quantità di metano che può essere prodotta dall'unità di massa della matrice (ad esempio in termini di litri di metano prodotto per kg di solidi volatili: $LCH_4/kgSV$), in condizioni di digestione ottimali. Altre definizioni di BMP sono "resa massima" o "produzione specifica di metano", è importante chiarire sempre se le valutazioni di resa di produzione di metano sono risultato di stime o di effettiva misura sperimentale.

Le procedure basate sul monitoraggio della produzione di biogas possono essere classificate in base al metodo impiegato per la misura del volume prodotto (Ficara et al. 2011), che può essere effettuata a pressione costante (metodi volumetrici), o a volume costante (metodi manometrici), o, ancora, misurando, per via gascromatografica, l'incremento della frazione di metano nello spazio di testa di reattori chiusi (con condizioni iniziali di pressione e temperatura note). In Fig 2.2.4a sono riportate le immagini di due strumenti da laboratorio utilizzati per svolgere prove BMP.

Prove di questo tipo consentono quindi di valutare la produzione massima di metano estraibile dalla matrice e la rapidità intrinseca con cui la matrice viene convertita in metano, informazioni utili sia in fase di dimensionamento che di gestione dell'impianto (Malpei et al. 2008) In Fig 2.24b sono riportate delle curve esemplificative di produzione di metano effettuate con uno strumento di tipo volumetrico.

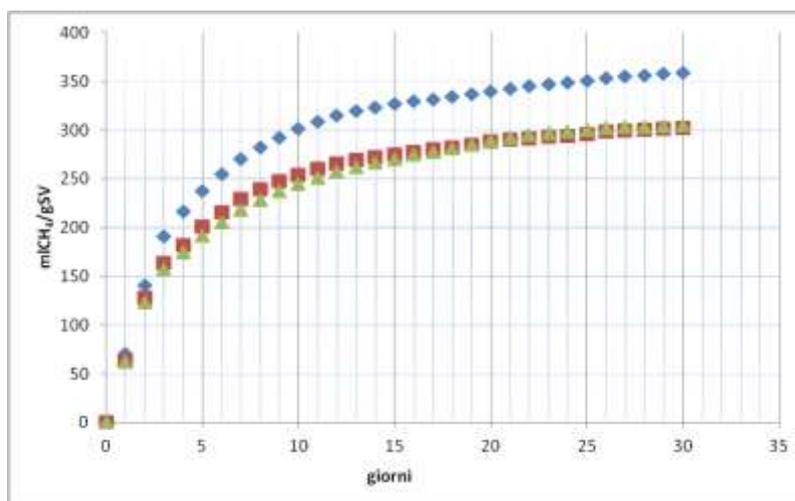


Fig 2.2.4b – Esempio di curve di produzione di metano da silomais

Nonostante vi siano indicazioni e norme (ISO 11734) e articoli internazionali che descrivono metodiche per lo svolgimento di questo tipo di analisi, non vi è ancora un protocollo comune univocamente utilizzato dai diversi laboratori. Vi sono diverse metodiche, durate di prova variabili dai 30 ai 50 giorni e temperature dai 30 ai 40°C per il campo mesofilo. A questo si aggiunge la variabilità della qualità dei sottoprodotti stessi, quindi i valori e gli intervalli riportati vanno considerati come indicativi. E' sempre consigliabile effettuare prove ad hoc su un dato sottoprodotto per ottenere indicazioni precise della potenzialità di produzione di biogas.

I valori di BMP riportati di seguito hanno come unità di misura il litro di metano prodotto per ogni kg di solido volatile alimentato (L_{CH_4}/kg_{SV}) che può essere trasformato, conoscendo il valore di solidi totali e solidi volatili (ovvero contenuto di umidità e ceneri) in litri di metano per kg di sostanza tal quale L_{CH_4}/kg_{tq} secondo la formula:

$$\frac{L_{CH_4}}{kg_{SV}} \times \frac{kg_{SV}}{kg_{ST}} \times \frac{kg_{ST}}{kg_{tq}} = \frac{L_{CH_4}}{kg_{tq}}$$

Nel caso sia indicata la produzione specifica in termini di litri di metano per ogni kg di sostanza secca L_{CH_4}/kg_{ST} è necessario conoscere il contenuto di solidi volatili SV/ST per poter ricavare il corrispondente valore di L_{CH_4}/kg_{SV} . Mentre se la produzione specifica è riportata in termini di biogas (L_{biogas}/kg_{SV}) è necessario sempre indicare la percentuale di metano nel biogas per poter ricavare il

valore corrispondente di BMP. Essendo il metano un gas, peso e volume relativo dipendono da pressione e temperatura, per cui la misura in volume dovrebbe sempre essere accompagnata dalle condizioni di pressione e temperatura in cui si misura. I volumi di metano prodotto dovrebbero sempre essere riferiti e standardizzati alle condizioni normali (temperatura 0°C e pressione 1 atm), motivo per cui si trova la dicitura NL (normal-litri) o Nm³ (normal metri cubi).

Un'altra misura del contenuto di sostanza organica (sia disciolta sia sospesa) presente in un campione è il COD (Chemical Oxygen Demand) e si effettua ossidando per via chimica la sostanza. E' una misura del contenuto di energia chimica della sostanza organica e che viene messa a disposizione dei batteri (che la trasferiscono al metano). Questa misura non indica la biodegradabilità di una sostanza organica e di per sé non permette quindi di valutare quanto metano potrà prodursi; permette però di correlare con precisione la produzione di metano alla riduzione del COD che si osserva per biodegradazione. Trascurando, come lecito, la parte di sostanza organica che viene utilizzata per la crescita batterica, risulta che per ogni kg di COD che viene degradato anaerobicamente, di qualunque sottoprodotto si tratti, si producono 0,35 NL di metano come dimostrato in precedenza.

La putrescibilità di alcuni sottoprodotti di diversa origine è un fattore importante per la scelta di utilizzare tali substrati come alimento dei digestori anaerobici, per le implicazioni in relazione alle modalità della loro conservazione e del loro stoccaggio, che dovranno essere tali da limitare il più possibile la perdita di sostanza organica rapidamente biodegradabile, l'eccessiva idrolisi/produzione di acidi e lo sviluppo di odori molesti. Alcuni sottoprodotti liquidi o solidi ma caratterizzati da un alto contenuto di sostanza organica in forma solubile (quindi rapidamente biodegradabile), subiscono rapidamente un processo di acidificazione che se non controllato porta già in fase di stoccaggio (soprattutto in estate con temperature elevate) alla produzione di gas quali idrogeno metano e anidride carbonica a causa di degradazione completa. Processi non controllati di degradazione portano alla formazione di odori, presenza di insetti e a una diminuzione del quantitativo di sostanza organica metanizzabile del campione.

Sono quindi necessari stoccaggi adeguati, eventualmente è consigliato l'insilamento oppure il rapido utilizzo del sottoprodotto stesso.

Da tenere sotto controllo il fenomeno dell'acidificazione del sottoprodotto anche per evitare abbassamenti di pH all'interno del digestore a seguito di alimentazione di substrati con pH inferiore a 6 non bilanciate da un adeguato potere tampone (alcalinità).

La presenza di materiali estranei o indesiderati nei sottoprodotti va tenuta sotto controllo sia in fase di progettazione di impianti dedicati che di introduzione di frazioni di sottoprodotti nell'alimento di digestore già avviati. La principale presenza di materiali estranei è riconducibile alla presenza di materiali solidi inerti o quaoli alla degradazione (terra, sabbia, legno, noccioli, semi, ..) che, in assenza di sistemi adeguati di miscelazione, possono portare ad accumuli dentro il digestore (con relativa riduzione del volume utile) o ad abrasioni delle opere elettromeccaniche (pompe, pale, coclee ecc.).

Altri elementi indesiderati sono le elevate concentrazioni di sali disciolti, metalli pesanti o antibiotici che potrebbero causare fenomeni di inibizione del processo biologico. Altri elementi che oltre certe concentrazioni possono risultare indesiderati sono l'ammoniaca libera (la cui inibizione è reversibile e si sono verificati fenomeni di adattamento dei batteri) e lo zolfo che in alte concentrazioni porta ad un aumento del livello di H₂S nel biogas.

La principale criticità di alcuni sottoprodotti (in particolare scarti dell'agroindustria come vinacce, sanse, pastazzo di agrumi, buccette di pomodoro, scarti di barbabietola) è la stagionalità di produzione degli stessi. Per alcuni è possibile procedere all'insilamento per altri è consigliabile (se alimentato in codigestione in frazioni minime rispetto agli altri substrati) il consumo in pochi giorni. Per sottoprodotti liquidi è necessario disporre di cisterne adeguate di stoccaggio con sistemi di pompaggio e miscelazione con i substrati solidi. In alternativa alla codigestione in digestori di tipo agricolo, per alcuni sottoprodotti liquidi (come ad esempio il siero di latte o il permeato di lattosio) c'è la possibilità di progettazione di impianti dedicati molto compatti, chiamati ad alto carico (es. di tipo UASB), che sfruttando biomasse adese o granulari e tempi di residenza di pochi giorni, consentono produzioni elevate di biogas con volumi del digestore estremamente ridotti.

Alcuni sottoprodotti di origine agricola sono composti da cellulosa (30-50%), emicellulosa (15-30%) e lignina (10-25%) La potenziale produzione di biogas delle biomasse lignocellulosiche dipende principalmente dal loro contenuto di cellulosa, emicellulosa e lignina. Generalmente, la cellulosa e l'emicellulosa vengono degradate dai microrganismi presenti nel digestore. Tuttavia, nei materiali lignocellulosici, esse sono associate alla lignina, che funge da barriera prevenendone la biodegradazione. La struttura fisica e la composizione chimica dei materiali lignocellulosici possono essere alterate attraverso vari metodi di pretrattamento (fisici, chimici, biologici o loro combinazione), con lo scopo di rimuovere il contenuto di lignina, ridurre la struttura cristallina della cellulosa, incrementare la porosità dei materiali e la superficie disponibile all'attacco dei microrganismi, migliorandone l'efficienza di degradazione anaerobica e incrementando la produzione di biogas. Tra i pretrattamenti possibili vi sono quelli meccanici (es. triturazione o

presso-estrazione), termici, trattamento alcalino (con aggiunta di soda), o biologici con utilizzo di enzimi o funghi.

E' sempre importante valutare (effettuando test BMP su campione grezzo e pretrattato) l'effettivo aumento di produzione di metano e confrontarlo con i costi energetici necessari per il trattamento. Un insilamento condotto adeguatamente minimizzando la presenza di ossigeno nel cumulo (con pressatura e isolamento ottimale) è di fatto una sorta di pretrattamento poiché alcune delle fasi per processo di digestione anaerobica (idrolisi, acidogenesi) avvengono ad opera di batteri naturalmente presenti nelle biomasse o nei sottoprodotti insilati. Parte della sostanza organica idrolizzata e acidificata viene persa però nella frazione liquida che si produce e che normalmente non viene raccolta. Per alcuni sottoprodotti, prove sperimentali hanno dimostrato la difficoltà dell'applicazione del processo di digestione anaerobica come unico substrato (es, pollina, glicerolo) a causa della presenza di concentrazioni elevate di ammoniacale, acidi grassi volatili, sali o metalli che oltre certe concentrazioni possono inibire il processo. Per questi sottoprodotti è necessario operare diluizioni o utilizzarli in codigestione con altri substrati.

Altri substrati, come il siero di latte, il permeato di lattosio o gli scarti di barbabietola necessitano di controllo particolare o di supplementi di nutrienti e alcalinità per essere trattati come mono-substrato. La codigestione di diversi substrati, se ben pianificata, permette invece di massimizzare la produzione di biogas sfruttando fenomeni di sinergia e complementarietà in termini di presenza di micro e macro nutrienti. In particolare l'utilizzo come substrato prevalente di fanghi di depurazione e FORSU (e in misura minore di altri sottoprodotti dell'agroindustria) permette di garantire stabilità del processo e omogeneità di rifornimento.

Con il termine "codigestione" si intende un processo di degradazione di substrati organici diversi in contemporanea. In particolare si parla di codigestione in campo anaerobico in riferimento al processo di stabilizzazione dei fanghi di supero degli impianti di trattamento di acque reflue. A tali fanghi infatti vengono aggiunti altri substrati di natura organica con lo scopo di incrementare i tassi di produzione di biogas grazie ad un sinergismo positivo creatosi in digestione per l'apporto dei nutrienti mancanti dal co-substrato. La miscelazione di diversi prodotti consente di compensare le fluttuazioni di massa stagionali, di evitare sovraccarichi o al contrario carichi inferiori alla capacità stessa del digestore e di mantenere quindi più stabile e costante il processo.

Vantaggi economici rilevanti derivano, inoltre, anche dalla condivisione degli impianti e dei costi di gestione, oltre che dall'aumento di produzione di biogas e conseguentemente di energia elettrica.

Questo approccio si innesta in maniera ottimale nel panorama attuale, specie a fronte della necessità di migliorare l'utilizzo dei circa 36000 digestori anaerobici presenti nell'Unione Europea (Caffaz et al. 2008). L'impiego di matrici organiche unite ai fanghi come substrato risulta essere economicamente molto interessante, infatti l'uso più spinto del parco di gestori disponibile porterebbe ad un recupero giornaliero di 112.000 MWh di energia elettrica e 180 MWh di energia termica, rispondendo così alla sempre più diffusa richiesta di recupero energetico da risorse rinnovabili.

Le principali biomasse che vengono utilizzate in questo tipo di processo sono:

- fanghi di supero prodotti dal trattamento delle acque reflue
- frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU)
- liquame suino
- liquame bovino
- deiezioni avicole (pollina)
- residui colturali
- colture energetiche
- scarti organici e acque reflue dell'agroindustria

In Tab. 2.2.4 a è riportata la resa indicativa in biogas di varie biomasse e scarti organici

Tab 2.2.4 a Biomasse e rifiuti organici per la digestione anaerobica e loro resa indicativa in biogas.

Materiali	m³ biogas/t SV
Deiezioni animali (suini, bovini, avi-cunicoli)	200-500
Residui colturali (paglia, colletti barbabietole, ecc.)	350-400
Scarti organici agroindustria (siero, scarti vegetali, lieviti, fanghi e reflui di distillerie, birrerie e cantine, ecc.)	400-800
Scarti organici macellazione (grassi, contenuto stomacale ed intestinale, sangue fanghi di flottazione, ecc.)	550-1000
Fanghi di depurazione	250-350
Frazione organica rifiuti urbani	400-600
Colture energetiche (mais, sorgo zuccherino, erba, ecc.)	550-750

Gli scarti organici da utilizzare come co-substrati provengono dalle più svariate fonti e possiedono quindi forti differenze nella composizione chimica e nella biodegradabilità. Alcune sostanze quali percolati, acque reflue, fanghi, olii, grassi e siero sono facilmente degradabili mediante digestione anaerobica senza richiedere particolari pretrattamenti, mentre altre quali gli scarti di macellazione (sostanze ad elevato tenore proteico) necessitano di essere fortemente diluite con il substrato base in quanto possono formare metabolici inibitori come l'ammoniaca. Una vasta gamma di

matrici richiede invece vari stadi di pretrattamento quali, ad esempio la FORSU, gli alimenti avanzati e/o scaduti, gli scarti mercatali, i residui agricoli, gli scarti di macellazione.

In Tab 2.2.4b sono riportati i valori di produzione specifica di metano di alcuni sottoprodotti dell'agroindustria tratti da un lavoro di ricerca bibliografica del Politecnico (Scaglione et al., 2014).

Tab 2.2.4b *Biomasse e rifiuti organici per la digestione anaerobica e loro resa indicativa in biogas (Scaglione et al., 2014).*

sottoprodotto	produttività di metano - BMP	produttività di metano sul prodotto tal quale
	L CH ₄ /kgSV	L CH ₄ /kg
liquame suino	220 - 390	4 - 13
liquame bovino	150 - 290	10 - 30
letame bovino	140 - 200	26 - 47
pollina	220 - 390	90 - 160
siero di latte	375-500	23-31
permeato di lattosio	350 - 400	14-18
stocchi di mais	150 - 246	115 - 190
bucchette di pomodoro	190-220	55-64
bucce di patate	260-380	40-60
polpa di barbabietola pressata	310-470	75-110
foglie e colletti di barbabietola	250-330	35-42
melasso	300 - 360	200 - 220
crusca	300 - 360	200 - 220
farinaccio	320 - 390	270 - 330
glicerolo	450 - 750	400 - 600

2.2.5 Scenari di dimensionamento

In questo paragrafo si analizzano gli scenari di dimensionamento di un impianto pilota dimostrativo, alimentabile con matrici quali quelle sopra esaminate, in grado di conseguire una produzione di biogas atta a alimentare sistemi di sfruttamento energetico, pur di piccola piccolissima taglia, disponibili sul mercato. Questo obiettivo era stata indicato e sollecitato nelle riunioni iniziali del progetto, anche da parte di RSE.

Con un m³ di biogas è possibile produrre, tramite impianto di cogenerazione (CHP combined heat and power engine), circa 1,8-2 kWh di elettricità e circa 2-3 kWh di calore a seconda del tenore di metano, che potrebbero essere disponibili per impieghi vari (tali stime valgono per impianti a scala

reale e con motori di cogenerazione maggiori di 100kW, per motori di taglia inferiore l'efficienza elettrica cala drasticamente).

Per un calcolo preciso è necessario conoscere il tenore di metano nel biogas, avente un PCI pari a 10 kWh/Nm³ CH₄ e l'efficienza di conversione, elettrica ($\eta_{\text{elettrica}}$) e termica (η_{termica}), del CHP, secondo la formula seguente:

$$\text{kWh}_{\text{el}} = \% \text{ metano nel biogas} / 100 \times \eta_{\text{elettrica}} \times \text{PCI metano}$$

$$\text{kWh}_{\text{ter}} = \% \text{ metano nel biogas} / 100 \times \eta_{\text{termica}} \times \text{PCI metano}$$

Non viene in questa fase analizzata l'opzione di purificazione del biogas per ottenere biometano, che per le taglie di impianto in esame non risulterebbe percorribile.

Si procede al calcolo di primo dimensionamento di alcune taglie di digestori a umido operanti in mesofilia, delle relative produzioni di biogas/metano e della potenza lorda corrispondente.

La potenza è stata calcolata sulla base delle seguente formula:

$$\text{kW}_{\text{th}} = C_{\text{org}} \times \eta_{\text{anaerobico}} \times 0,35 \text{ Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{kgCOD} \times \text{PCI metano} / 24$$

Il volume del digestore è stato calcolato in base a:

$$V = C_{\text{org}} / C_V$$

Assumendo:

- PCI metano: 10 kWh/Nm³ CH₄
- C_{org}: carico organico da alimentare (kgCOD/giorno)
- $\eta_{\text{anaerobico}}$: 50% (efficienza di degradazione anaerobica della sostanza organica)
- C_V: 3 kgCOD/m³ reattore/giorno (carico volumetrico)

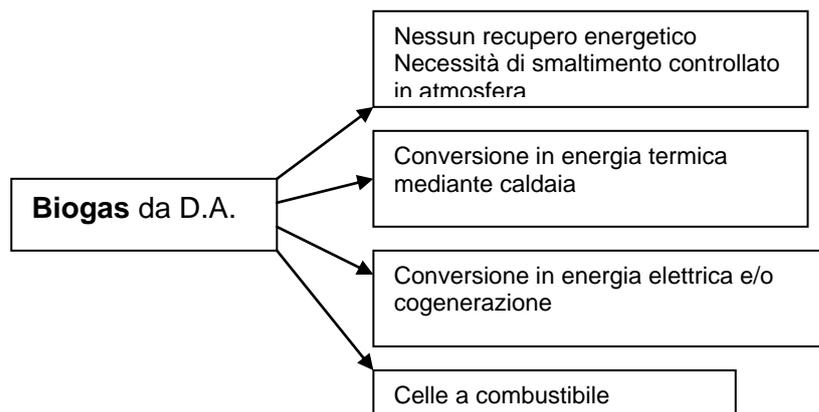
Risultano le seguenti taglie indicative, dalle quali emerge che per ottenere potenze lorde dell'ordine di 1 kW la dimensione indicativa del digestore è di 5 m³. E' chiaro che in questo caso la potenza effettivamente resa da una sistema elettrico o termico alimentato con questa quantità di

biogas sarebbe ben inferiore, in ragione della relativa efficienza. In presenza di una efficienza di conversione termica dell'ordine del 85-90%, come riscontrabile su bruciatori o caldaie, la potenza resa sarebbe dunque dell'ordine di 0,85 – 0,9 kW_{termici}, indicativamente compatibile con sistemi commerciali alimentati a solo metano. Ma in questo caso la fattibilità andrebbe verificata in considerazione della alimentazione con biogas, e non metano.

potenza lorda teorica (kW _{th})	0,1	1	10
metano necessario (Nm ³ /giorno)	0,24	2,4	24
COD da degradare kgCOD/giorno	0,7	6,9	69
C _{org} kgCOD/giorno	1,4	13,7	137
Volume reattore (m ³)	0,5	5	46

Ipotesi di sfruttamento energetico del biogas:

In funzione delle dimensioni selezionate per l'impianto sono possibili diverse opzioni di valorizzazione del metano prodotto.



Si è già poco prima valutato lo scenario di sfruttamento solo termico, viene ora approfondito lo scenario di produzione di energia elettrica.

I motori alimentabili a biogas presentano generalmente potenze elettriche minime dell'ordine di alcuni kW_{el}, cui corrispondono potenze lorde del combustibile superiori di 5 – 10 volte, tenendo conto delle basse efficienze di conversione tipiche di queste piccole taglie (10 – 20 % max). Vengono proposti in commercio alcuni motori alimentati a biogas di taglia ancora inferiore, prodotti principalmente in Cina e per il mercato dei Paesi in via di sviluppo.

Si veda per esempio (<http://a429930835.oinsite.yh.mynet.cn/d275939258.htm>) un motore da 1kW_{el} con efficienze elettriche stimabili intorno al 15% per mantenersi a favore di sicurezza.

Effettuate le seguenti ipotesi:

- PCI metano: 9,54 kWh/Nm³
- efficienza elettrica: 15%
- funzionamento del motore: 8000h

Il metano necessario per l'alimentazione di un piccolo motore che produca 1kW di energia elettrica risulta essere di circa 18 Nm³ al giorno.

2.2.6 Progetto di un digestore anaerobico a carattere dimostrativo

Sopra definita la portata o volume giornaliero di metano necessari, si procede alla selezione delle matrici in alimento ed al calcolo dei quantitativi necessari su base giornaliera. Successivamente, si procederà al dimensionamento del volume del digestore.

Come matrici in alimento, nel corso di vari incontri di progetto era emerso l'interesse ad utilizzare matrici che fossero significative rispetto al territorio e agli obiettivi generali del progetto e disponibili in loco. Tra queste si è ritenuto interessante valutare la FORSU (Frazione organica rifiuti solidi urbani), in considerazione dell'avvio delle raccolte differenziate di questa matrice, recentemente giunta ad interessare oltre il 50% 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'alimentazione di scarti di mercato ortofrutticolo. Si è inoltre ritenuto interessante valutare la possibilità di co-digerire la FORSU con altre matrici, quali i fanghi di depurazione del vicino impianto di Nosedo e 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) svolte anche all'interno del progetto Fabbrica della Bioenergia in parte finanziato da Fondazione Cariplo come progetto emblematico della provincia di Cremona.

substrati ipotizzati	provenienza	BMP (LCH₄/kgSV)
Fango di depurazione (supero ispessito)	Depuratore di Nosedo	150
Scarti agro-industria (es. trebbie di birra)	Az. Agricole e industrie (es. Birrifici)	400
FORSU	Raccolta differenziata o mense	650
Scarti mercato ortofrutticolo	Mercati in zona	650

Come dati di progetto (oltre a quelli già definiti sull'efficienza del motore) si assumono:

- condizioni mesofile (35°C)
- digestione ad umido
- efficienza di degradazione rispetto a valore sperimentale: 90%

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

	quantità alimentata	ST	SV/ST	frazione SV	Potenza elettrica generata
sottoprodotto	kg/d	%	%	%	kW
fango ispessito	300	6%	67%	30%	0,10
FORSU	45	30%	95%	32%	0,45
Scarti di mercato	45	20%	90%	20%	0,28
trebbie di birra	35	23%	82%	17%	0,14
alimento totale kg/d	425				1,0

Ipotizzando un carico organico volumetrico di 4 kgSV/m³reattore/giorno il volume necessario del reattore risulta essere di 10 m³ con un tempo di residenza medio di 24 giorni. I valori di tali parametri sono in linea con dati di letteratura per impianti simili.

Come si può notare, la realizzazione di un impianto dimostrativo che comprenda lo sfruttamento energetico del biogas in forme confrontabili a quelle degli impianti reali a piena scala comporta la realizzazione di un volume importante, con necessità di provvedere ad adeguati stoccaggi, forniture degli alimenti, pretrattamenti, stoccaggio del gas, dispositivi di sicurezza, ecc. Il tutto con costi e complessità tecniche da ritenersi non compatibili con questo progetto.

Ipotizzando invece l'assenza del recupero del biogas il reattore dimostrativo potrà essere di pochi litri, semplificato, a basso costo, con alimentazione in discontinuo e minima necessità di automazione e personale qualificato. L'approvvigionamento dei rifiuti e l'eventuale pretrattamento risulterà inoltre più semplice.

Si procederà dunque alla realizzazione di un piccolo reattore dimostrativo-didattico di digestione anaerobica da circa 2L che verrà presentato a fine progetto, il cui obiettivo sarà mostrare la produzione di biogas collegando il reattore a un piccolo fornello bunsen.

2.2.7 Combinazione con tecnologia bio-elettrochimica (RSE Cristiani)

Uno studio delle prestazioni di sistemi bio-elettrochimici in comparazione con il processo di produzione di biogas è stato iniziato da RSE in collaborazione con il Politecnico di Milano.

Altri test con rifiuti solidi saranno condotti nella parte restante del progetto.

Di seguito si riporta una sintesi dei risultati preliminari, riportati anche nel Rapporto di Ricerca di Sistema n. 14001880 del 28/02/2014.

Prove sperimentali con fanghi di depurazione

Nella prospettiva di una sperimentazione comparativa tra reattori per la produzione di biogas e reattori bio-elettrochimici, sono state eseguite alcune prove preliminari di cinetica di degradazione aerobica/anaerobica utilizzando come substrati i fanghi di depurazione dell'impianto di Nosedo e, in comparazione del siero di latte (facilmente biodegradabile). Le prove sono state svolte presso la sede di Cremona del Politecnico di Milano.

Le prove di produzione di biogas sono state condotte utilizzando come norma di riferimento la UNI EN ISO 11734-2004, modificata secondo metodo interno del Politecnico di Milano.

Nella tabella sottostante sono indicati i quantitativi di fango di inoculo e di sostanza di prova introdotti in ogni bottiglia.

Dati massivi relativi alle sostanze utilizzate per la prova.

Bottiglia	Fango di inoculo	Rapporto Sstanza di prova/ Fango di inoculo		Sodtanza di prova
	ml	gSV/gSV	gCOD/gSV	g
Bianco	450			
Siero A	450			
Siero B	450		0,390	2,623
Fango Nosedo A	100	1,485	0,397	2,673
Fango Nosedo B	100	1,507		363,77
				369,12

Nella tabella sottostante vengono riportati i risultati relativi alle prove di degradazione anaerobica, specificando i seguenti parametri:

La produzione media di metano a 30 giorni di digestione (BMP₃₀) espressa come volume di metano in condizioni normali (0°C; 1 bar) prodotto su unità di sostanza organica. Il BMP del campione SIERO è espresso per unità di COD mentre il BMP del FANGO NOSEDO è espresso per unità di solidi volatili.

I tempi necessari per il raggiungimento del 50% e del 90% del BMP₃₀.

I valori di sostanza secca e organica del campione FANGO NOSEDO

I valori di COD del campione SIERO.

Dati relativi alla produzione di metano da siero di latte e fango di Nosedo.

	BMP₃₀ medio a 30 giorni	BMP₂₁ medio a 21 giorni	Tempo per 50% BMP₃₀	Tempo per 90% BMP₃₀	Solidi totali	Solidi volatili
Campione	<i>ml CH₄/ g SV</i>	<i>ml CH₄/ g COD</i>	<i>giorni</i>	<i>giorni</i>	<i>gST/kg</i>	<i>gSV/kg</i>
Siero		276.8 ± 4,4		21	8,21 ± 0,01	6,08 ± 0,03
Fango di Nosedo	136,2 ± 22,8		7	21	8,21 ± 0,01	6,08 ± 0,03

I grafici nella figura seguente mostrano i valori medi cumulati nel tempo della produzione di metano per unità di sostanza organica dei campioni (BMP) durante gli oltre 40 giorni di trattamento dalle due bottiglie di prova e dalla bottiglia di bianco.

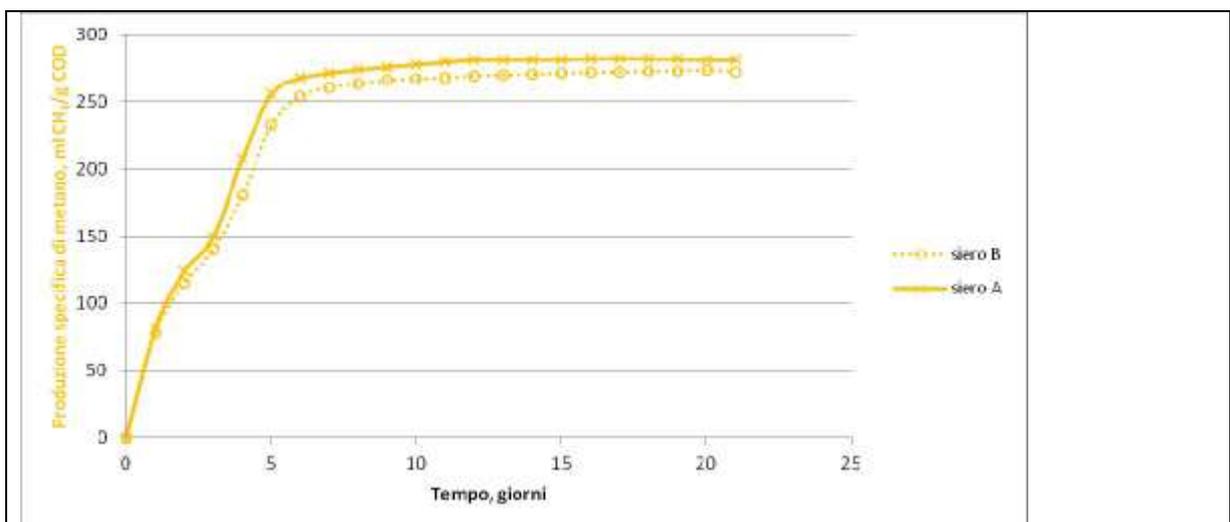


Fig 2.2.7.a Valori medi cumulati nel tempo della produzione di metano da siero di latte.

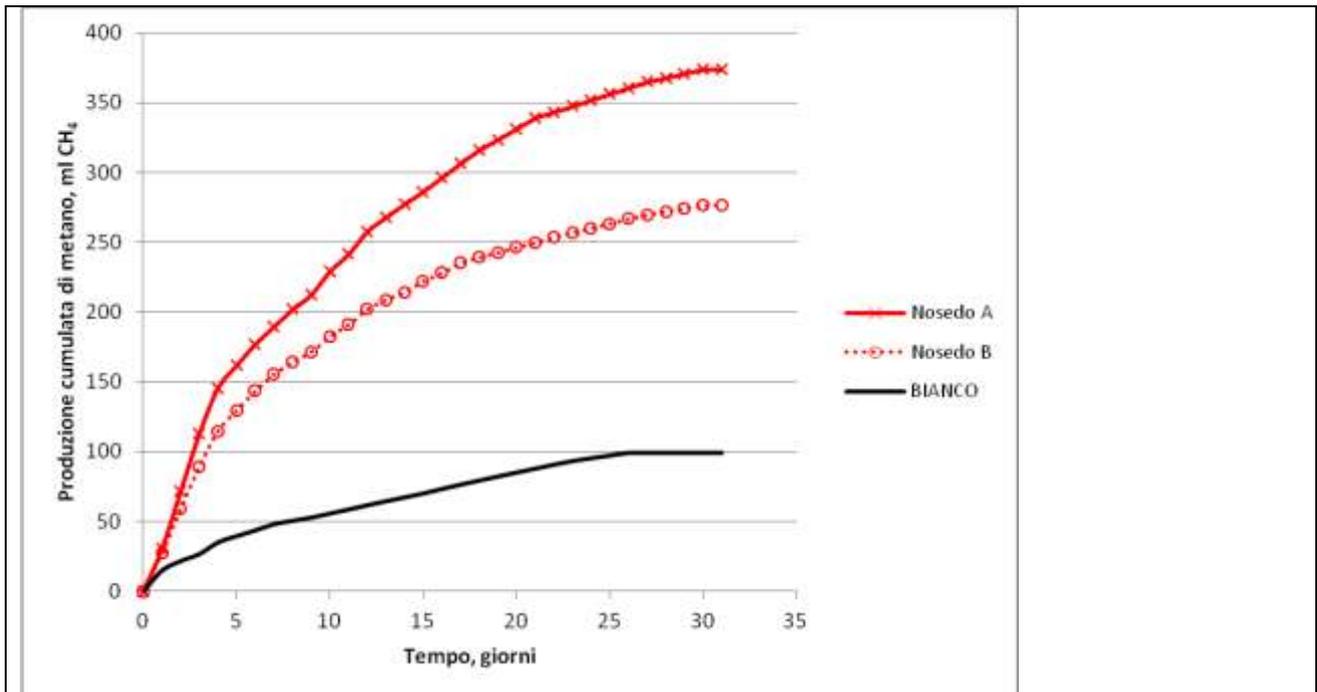


Fig 2.2.7.b

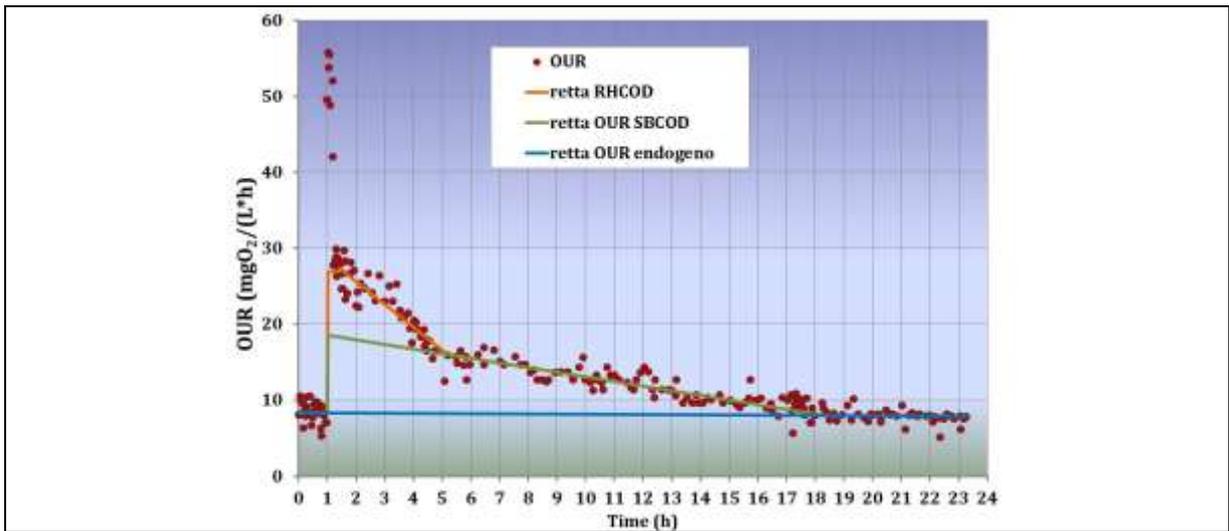
Prove di degradazione aerobica

Di seguito sono riassunti i risultati delle prove di della degradazione aerobica del siero di latte e quelli relativi alle prove di della degradazione aerobica del fango di Nosedo.

La percentuale di fango biodegradabile aerobicamente è risultata moto contenuta, pari al 6%; molto inferiore a quella del siero di latte, pari all'87% nello stesso tempo.

Dati e risultati delle prove di della degradazione aerobica del siero di latte Siero di Latte

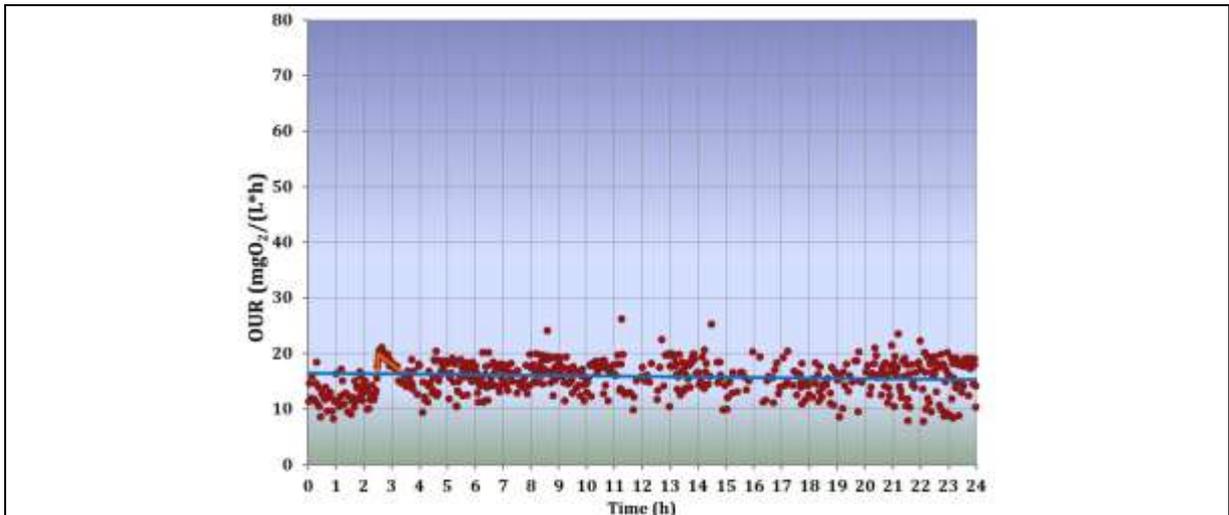
Inoculo SST _{fango}	COD	Substrato	COD biodegradabile	gCOD/gSSV
3,91 g/l	408 mg (1020 mg/g)	13,27 g	87% del totale	0,125
COD biodegradabile			6% del totale in 40 min	
COD idrolizzabile			17.8% 4 h	
COD lentamente degradabile			75.8% 17 h	
COD lentamente degradabile			Totale 100% 24 h	



2.2.7.c Andamento della degradazione aerobica del siero di latte.

Dati e risultati delle due prove di degradazione aerobica del fango di Nosedo

Inoculo SST _{fango}	COD	Substrato SSV _{fango}	COD biodegradabile
3,9 g/l	7300 mg/l	5,4 g/l	6% del totale
3,3 g/l	800 mg/l	6,5 g/l	6% del totale



2.2.7.d Andamento della degradazione aerobica del fango di Nosedo.

Prove con pile microbiche con inoculo di biogas e siero di latte

Gli stessi substrati organici di siero di latte e di fanghi del depuratore di Nosedo sono stati utilizzati per alcune prove preliminari effettuate utilizzando pile microbiche da laboratorio.

Le pile sono state inoculate preliminarmente con il refluo di un impianto di biogas fornito dal Politecnico di Milano e con 10 g/L di siero di latte. Nella Figura seguente è riportato il grafico della cinetica di degradazione del siero di latte, e a seguire, l'andamento della tensione generata nelle pile. Nonostante sia stata utilizzata una concentrazione maggiore di quella delle precedenti prove

svolte al Politecnico, il più elevato tempo di degradazione riscontrato può essere imputato ad un lento trasporto di massa sull'elettrodo, data l'assenza di agitazione nelle pile microbiche.

Un successivo ciclo di prove con entrambi i substrati (siero di latte e fango di Nosedo) è in corso con celle in flusso. Di tali prove non sono riportati i risultati.

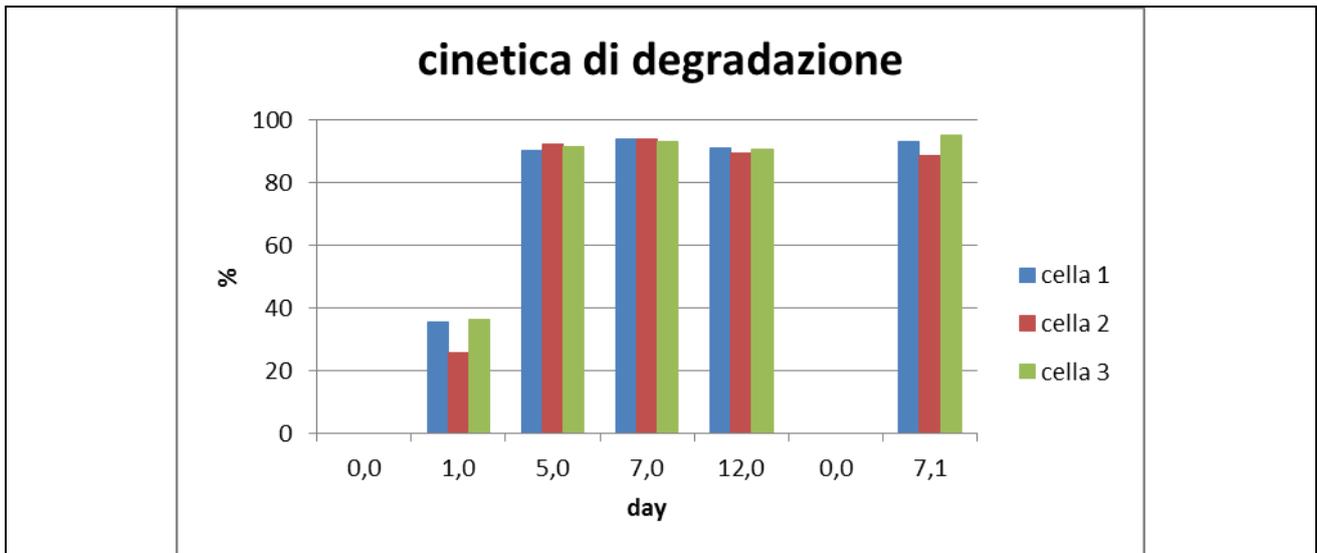


Fig 2.2.7.e Grafico della cinetica di degradazione di 10 g/L di siero di latte aggiunto in tre pile microbiche da laboratorio.

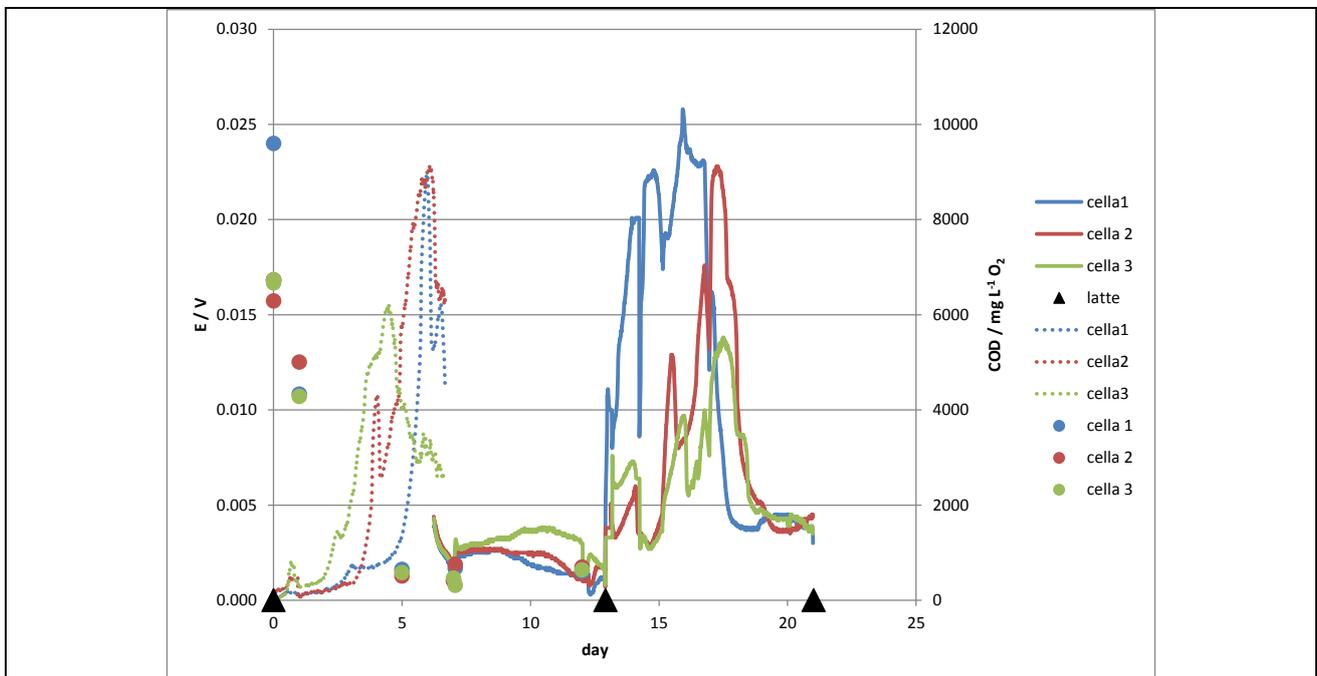


Fig 2.2.7. f Grafico della tensione generata nelle tre pile microbiche da laboratorio alimentate con 10 g/L di siero di latte.

Le maggiori differenze riscontrate tra bioreattori tradizionali ed elettrochimici sono da attribuire alla diversa condizione di flusso. Le prossime sperimentazioni saranno svolte agitando la soluzione anche nei bio-reattori elettrochimici.

2.3 Studio di fattibilità di Uso combinato di specie vegetali adatte per la fitodepurazione

L'attività svolta nell'ambito del sottoprogetto per la "Realizzazione di impianti didattico/dimostrativi di fitodepurazione" ha avuto come elemento guida quello di realizzare impianti di fitodepurazione sia a scopo scientifico sia a scopo divulgativo. Quindi le finalità delle attività sperimentali realizzate possono essere così riassunte:

- **Dimostrativa:** realizzare prototipi esemplificativi di impianti di fitodepurazione sia all'orto Botanico sia nell'area del progetto
- **Scientifica:** realizzazione di una tesi di laurea per verificare gli effetti della fitodepurazione con analisi delle acque in entrata ed in uscita dall'impianto
- **Educativa:** utilizzare i prototipi realizzati per spiegare i principi della fitodepurazione e le possibilità di utilizzazione delle biomasse prodotte a scopi energetici.

Nel corso dei due anni di progetto sono state svolte diverse attività che si collegano a due realizzazioni differenti sia per tipologia di attività sia per la localizzazione delle stesse:

1. Realizzazione di 4 vasche di fitodepurazione a scopo scientifico/dimostrativo all'Orto Botanico di "Città Studi" con l'estensione di una tesi di laurea dal titolo: "Impianto sperimentale di fitodepurazione con flusso superficiale e sommerso verticale a confronto ed analisi della biomassa".
2. Realizzazione di una vasca di fitodepurazione a scopo didattico/dimostrativo presso Nocetum posto proprio all'ingresso della Valle dei Monaci (Parco della Vettabbia). Questa vasca è collegata ad un laghetto ricco di nutrienti e sarà utilizzata nei percorsi di educazione ambientale dell'Associazione Nocetum per spiegare i principi della fitodepurazione.

Vasche di fitodepurazione all'Orto Botanico di 'Città Studi' a scopo scientifico/dimostrativo

Sono stati messi a confronto due sistemi di fitodepurazione: quello superficiale e quello subsuperficiale verticale con i relativi controlli al fine di appurare la loro capacità di depurare le

acque ricche di sostanza organica e nutrienti minerali tipiche di uno stagno eutrofo. Per questo sono stati monitorati i principali parametri di qualità chimico-fisica dell'acqua in uscita ed in entrata di tutte le vasche per avere un riscontro degli effetti della fitodepurazione e per poter confrontare i parametri in uscita con gli standard di qualità della normativa vigente per le acque superficiali. Inoltre è stata quantificata la produzione di biomassa delle due specie utilizzate come agenti fitodepuranti, al fine di valutare il bilancio dei nutrienti e il loro possibile uso a scopi energetici o fertilizzanti.

a)



c)



b)



d)



Figura 2.3.1 - a) ingresso dell'Orto Botanico di "Città Studi"; b) cartellone di spiegazione delle vasche sperimentali realizzate presso l'Orto Botanico di "Città Studi"; c) le quattro vasche sperimentali che mettono a confronto i due sistemi di fitodepurazione con i loro rispettivi controlli; d) raccolta di un campione d'acqua in uscita dalla vasca a flusso verticale.

I risultati della sperimentazione hanno evidenziato un ruolo essenziale delle piante nella fitodepurazione infatti le analisi effettuate sull'impianto sperimentale hanno mostrato una rimozione rilevante di azoto da parte della vegetazione soprattutto nel caso in cui le concentrazioni in entrata fossero relativamente alte. L'abbattimento dei solidi sospesi ha evidenziato un efficace abbattimento da parte di entrambi i trattamenti di entrambi i flussi, ma è risultato maggiore per il flusso superficiale con le piante. Il BOD₅ è stato abbattuto efficacemente nel caso del flusso verticale sia nella vasca con le piante che di controllo.

Un giudizio complessivo dell'efficacia dei sistemi di fitodepurazione realizzati è stato effettuato confrontando la qualità dell'acqua in uscita dalle vasche con i valori limite per le acque superficiali stabiliti dal decreto legislativo 260 del 2010. Dai risultati di maggio si è osservato che le due vasche con vegetazione hanno dato origine ad un livello di qualità buono per l'arricchimento di ossigeno, ottimo per l'azoto ammoniacale, mentre per i nitrati solo il flusso superficiale con piante si è dimostrato adeguato per la rimozione di questi composti; per il fosforo, invece, non si sono avuti abbattimenti soddisfacenti in base ai parametri di qualità delle acque superficiali. Questo risultato è da imputarsi ad uno stadio iniziale di sviluppo della vegetazione nelle due vasche. A luglio, rispetto al mese di maggio, c'è stata una maggiore efficacia nell'abbattimento dei nitrati da parte del flusso verticale ed un miglioramento nella diminuzione della quantità di fosforo presente in acqua da parte di tutti i trattamenti, in particolare il flusso superficiale con piante è quello che realizza la combinazione migliore dei vari parametri.

La sperimentazione realizzata all'Orto Botanico di "Città Studi" ha evidenziato i vantaggi specifici dei due sistemi di fitopurazione sottolineando mediante il confronto con le vasche di controllo il ruolo essenziale della vegetazione. Le piante possono inoltre rappresentare una risorsa in termini di produzione di biomassa a fini energetici o per la produzione di compost ad alto contenuto di nutrienti. In particolare, la canna di palude ha dimostrato di poter realizzare una notevole quantità di biomassa adatta ad un suo uso a fini energetici, mentre la lenticchia d'acqua per il suo elevato contenuto in elementi fertilizzanti (fosforo e azoto) e per il suo basso contenuto in fibre rappresenta un'ottima risorsa per la realizzazione di compost di alta qualità.

L'impianto sperimentale realizzato presso l'Orto Botanico di "Città Studi" è stato inoltre oggetto di spiegazioni ed attività di divulgazione, durante le giornate di apertura dell'orto ed in particolare durante la giornata del solstizio d'estate 2014.

Vasche di fitodepurazione presso l'Associazione Nocetum – Corte San Giacomo a scopo didattico/dimostrativo

La vasca di fitodepurazione è stata posta al lato di un piccolo laghetto che è situato nel recinto del pollaio del centro. Per attivare il flusso d'acqua della vasca di fitodepurazione è stata realizzata una ruota idraulica azionata a mano (energia metabolica) che potesse essere sia efficace date le piccole dimensioni dell'impianto, sia economica (non richiede una fonte di energia tradizionale). Inoltre è stato valutato che potesse avere un effetto di attrazione per i più piccoli che vengono coinvolti direttamente nell'attività didattica/dimostrativa come "attori/motori" dell'impianto. Questa vasca realizzata anche con attenzione agli aspetti estetici, potrà offrire al centro di Nocetum un'opportunità didattica molto speciale per presentare temi di notevole attualità quali: "problema dell'energia", "la depurazione delle acque" e "i servizi delle piante e degli ecosistemi all'uomo". La figura 2.3.2 rappresenta il piccolo laghetto prima della realizzazione della vasca di fitodepurazione e dopo la realizzazione.

a)



b)



c)

idraulica per alimentare il ciclo fitodepurativo; c) seconda versione della ruota con perno in ferro e braccio di rotazione snodato; d) vasca di fitodepurazione con ritorno dell'acqua nel laghetto.



d)

Figura 2.3.2 - a) Laghetto di Nocetum prima della realizzazione della vasca di fitodepurazione; b) ruota



Di seguito relazione dettagliata delle attività realizzate durante i due anni della durata del progetto

2.3.1 Introduzione

La fitodepurazione utilizza i processi naturali, propri delle aree umide, per effettuare un'efficace depurazione delle acque. Le aree umide artificiali costituite per la fitodepurazione possono essere più efficaci di quelle naturali nella rimozione di inquinanti in quanto consentono di gestire il flusso di entrata, il flusso di uscita e le caratteristiche costitutive. Ormai la fitodepurazione è una tecnica diffusa in paesi come la Svizzera, l'Austria e la Germania. In Italia la maggior parte degli impianti si trovano a nord, ma ora varie università ubicate nel territorio e vari Enti di ricerca stanno lavorando a standard per la progettazione che siano applicabili anche nell'area mediterranea; nel nostro paese, vista la diffusione della tecnica, sono stati realizzati diversi manuali specifici ad opera delle varie agenzie ambientali, ad esempio l'ARPA (Linee guida per lo scarico di acque reflue domestiche sul suolo e negli strati superficiali del sottosuolo, per carichi organici < 50 abitanti equivalenti).

Gli elementi fondamentali che compongono un impianto di fitodepurazione sono: il SUBSTRATO, la COMUNITA' MICROBICA e la VEGETAZIONE.

Il **substrato** ha un effetto notevole sui processi di depurazione in quanto effettua una azione di filtrazione sull'acqua e ospita microrganismi in grado di rimuovere i nutrienti e, potenzialmente, anche le sostanze pericolose mediante biotrasformazione. L'azione filtrante avviene grazie a tre processi: filtrazione fisica (le particelle in sospensione nel fluido da depurare sono trattenute dal substrato in funzione delle dimensioni), assorbimento chimico (creazione di legami chimici tra le particelle presenti nel fluido e il substrato) e scambio ionico (substrati capaci di legare ioni prendendoli dal fluido e di cederne altri mantenendo la neutralità elettrostatica).

L'azione della **comunità microbica** ospitata dal substrato è fondamentale nel processo di fitodepurazione in quanto effettua la decomposizione della sostanza organica. I batteri utilizzano la sostanza organica come fonte di energia (catabolismo) o per costruire parti del loro organismo

(anabolismo). Se essi vivono per lungo tempo in un ambiente in cui è sempre presente una alta concentrazione di una certa sostanza tossica, si possono selezionare ceppi resistenti che sono in grado di trasformarla in sostanze non tossiche o compartimentarla all'interno della cellula in modo da renderla non interferente con il metabolismo. Alcuni batteri che il substrato può ospitare possono anche fare fotosintesi (alghe azzurre), diminuendo la probabilità che il sistema vada incontro ad anossia dovuta ad eutrofia.

Le **piante** hanno un ruolo fondamentale in un impianto di fitodepurazione per la rimozione dei nutrienti e per il funzionamento del sistema depurante stesso. Esse utilizzano per la crescita i nutrienti minerali determinando una sottrazione consistente di azoto e fosforo. Ogni parte della vegetazione è coinvolta nel miglioramento della qualità dell'acqua:

- parte sommersa: filtro e supporto per la popolazione microbica, assorbimento ed asportazione di fitonutrienti e di elementi tossici (i fitonutrienti saranno usati dalla pianta per la produzione di tessuti e gli elementi tossici saranno inattivati o compartimentati, per esempio nei vacuoli delle cellule), diminuzione della velocità della corrente per attrito. E' evidente che si ha un livello maggiore di depurazione tanto più a lungo l'acqua rimane a contatto col substrato e con le comunità microbiche insediate sulle parti vegetate.
- parte aerea: attenuazione intensità della luce (con conseguente diminuzione della presenza di alghe), riduzione volume del refluo per traspirazione fogliare (l'acqua viene restituita all'atmosfera sotto forma di vapore acqueo) e diminuzione della velocità del vento. Questo elemento può provocare problemi su impianti di vasta scala che, per esempio, utilizzino le lenticchie d'acqua, in quanto, quando vengono spinte dal vento, queste tendono ad accumularsi solo in una porzione dello specchio d'acqua e quindi il refluo verrà a minor contatto con le parti vegetate. Il vento può inoltre esercitare una corrente e quindi aumentare la velocità del flusso d'acqua all'interno dell'impianto. Un'altra funzione della parte aerea delle piante è quella estetica; molto spesso gli impianti di fitodepurazione sono aperti al pubblico o si collocano in una zona pubblica in modo anche da svolgere un ruolo educativo e di sensibilizzazione.
- apparati radicali e rizomi: controllo erosione (tengono maggiormente adese tra loro le particelle del substrato agendo da struttura portante) e ossigenazione del substrato. Le radici di alcune piante ricevono ossigeno proveniente dalla parte aerea e lo diffondono nella rizosfera: l'ossigeno si diffonde con un tasso minore nell'acqua rispetto all'aria e quindi questa dose aggiuntiva di ossigeno promuove la presenza di batteri aerobici che favoriscono l'ossidazione delle sostanze organiche presenti in prossimità delle radici. Il trasporto di ossigeno all'interno della pianta avviene attraverso il parenchima aerifero o arenchima: un tessuto semplice, dotato di pori per il passaggio dell'aria. Questo tessuto è

un adattamento specifico delle piante acquatiche, che si sono adattate a vivere in un ambiente povero di ossigeno. Il parenchima aerifero forma la parte centrale della radice e del fusto, il loro midollo all'interno del quale la diffusione dell'ossigeno avviene per diffusione passiva in funzione del gradiente di pressione generato dai vari processi fisici che hanno luogo all'interno della pianta stessa.

La selezione della vegetazione dipende principalmente dalle caratteristiche del substrato selezionato per l'impianto, dalle caratteristiche climatiche del luogo e dall'obiettivo depurativo prescelto. Sono da preferire piante autoctone per ragioni ecologiche e pratiche, in quanto sono adattate al clima e quindi avranno un tasso di sviluppo consono, resistenza alle malattie e maggior capacità di sopportare una elevata quantità di inquinanti. Inoltre la facilità della loro gestione è un criterio da non sottovalutare, anche da un punto di vista economico. Bisogna selezionare piante erbacee con organi perennanti in grado di colonizzare velocemente e uniformemente l'ambiente in quanto l'impianto potrà entrare prima ed efficacemente in funzione. Le piante competitive permettono di mantenere nel tempo la composizione floristica desiderata.

Negli impianti di fitodepurazione aperti o comunque accessibili al pubblico si inseriscono anche piante ornamentali con una certa attenzione anche alla fioritura (periodo, colore ecc); esse possono comunque avere un ruolo attivo nella depurazione come per esempio l'*Iris pseudacorus*. Inoltre si possono scegliere piante aromatiche come per esempio la menta acquatica, il cui profumo può risultare repellente per alcuni insetti e può coprire parte dell'odore del refluo.

2.3.2. Modelli di riferimento per la fitodepurazione

Ferrari et al. (2002) descrivono fondamentalmente tre tipi di sistemi di fitodepurazione che possono essere utilizzati sia come trattamenti unici (non accompagnano un sistema di depurazione di tipo tradizionale) sia come sistemi di fissaggio di un impianto tradizionale. Possono inoltre essere posti in serie o in parallelo.

FLUSSO SUPERFICIALE

Condizioni prevalenti	Aree umide naturali.
Forma della vasca	Rettangolare.
Dimensioni della vasca	Il migliore rapporto tra lunghezza e larghezza è 4:1, profondità tra i 40 e i 60 cm.
Pendenza	Costante per lunghezza,variabile in larghezza per promuovere il rimescolamento dell'acqua.
Substrato	Terriccio non argilloso con almeno 20 cm di spessore.
Efficacia	Abbattimento dei nutrienti.
Impiego	Trattamento secondario.
Tipo di flusso	Continuo.

Per questo tipo di flusso è molto importante avere la presenza di aree vegetate e di aree non vegetate, in quanto, in queste ultime, possono realizzarsi fenomeni di natura chimico-fisica come la diffusione dell'ossigeno atmosferico e la penetrazione della radiazione solare.

Per gli impianti a scala industriale, al fine di evitare l'intasamento grazie alla presenza di solidi sospesi, in prossimità dell'area di uscita del refluo è presente una zona profonda della vasca per promuovere la sedimentazione.

FLUSSO SOMMERSO ORIZZONTALE

Condizioni prevalenti	Anossiche
Forma della vasca	La vasca deve avere necessariamente una geometria rettangolare in modo che il refluo stia più tempo a contatto con le parti vegetate e con il substrato
Dimensioni della vasca	Lunghezza inferiore ai 4 m, profondità 70-80 cm
Dimensionamento impianto	secondo alcuni autori per una applicazione estiva dell'impianto sono richiesti 3,5 m ² / abitante equivalente e per una applicazione non stagionale è richiesta una sup di 4,5 m ² / abitante equivalente; per altri autori la superficie occupata deve essere determinata in funzione dell'utilizzo del bacino:per un trattamento secondario 6 m ² / abitante equivalente per il terziario 1 m ² / abitante equivalente.
Pendenza	Necessaria,inferiore a 1%
Substrato	Pietrisco grossolano o ghiaia. Il substrato è costituito da pietrisco grossolano per evitare fenomeni di intasamento o da ghiaia di granulometria variabile: si consiglia una distribuzione uniforme in modo da evitare sensi di scorrimento preferenziale da parte del flusso.
Efficacia	Abbattimento carico organico e solidi sospesi
Impiego	Utenze medie e piccole. Indicato per ambienti freddi
Tipo di flusso	Continuo

Questo tipo di sistema è caratterizzato dalla prevalenza di condizioni anossiche e quindi non permette di avere una elevata rimozione delle forme di azoto, ma ci sono siti con condizioni aerobiche, grazie alle radici delle piante acquatiche e questo permette al sistema di essere molto efficiente e versatile.

FLUSSO SOMMERSO VERTICALE

Questo tipo di sistema è caratterizzato dal fatto che le acque scorrono verticalmente attraverso il mezzo poroso.

Condizioni prevalenti	Ossigenate
Forma della vasca	Simmetrica(no geometria preferenziale)
Dimensioni della vasca	Profondità di 1 m.
Dimensionamento impianto	1 m ² /a.e. per assicurare una efficace rimozione del B.O.D, 1 o 2 m ² /a.e. per fissaggio 2 o 3 m ² /a e. per nitrificazione.
Pendenza	Non presente
Substrato	Inferiore ghiaia grossolana,superiore ghiaia fine e tra i due strati di ghiaia sabbia. In superficie è presente uno strato di ghiaia a granulometria medio-fine, con spessore di circa 10 cm; Sul fondo è presente uno strato di ghiaia a granulometria grossolana, per impedire fenomeni di intasamento (l'acqua è raccolta sul fondo da un insieme di tubi drenanti) e in mezzo è presente uno strato di sabbia; L'uso di materiale di riempimento a diversa granulometria, unito ai cicli di svuotamento e di riempimento, assicura che il flusso venga a trovarsi alternativamente in condizioni aerobiche e anaerobiche.
Efficacia	Carico organico, azoto e fosforo
Impiego	Adattabile
Tipo di flusso	Alternato discontinuo. E' presente un'alimentazione dall'alto a intermittenza, ed è previsto il periodico svuotamento delle vasche, per un efficace scambio di gas tra il substrato e l'atmosfera.

Secondo il manuale dell'ISPRA (ISPRA, 2012), la gestione delle macrofite nei diversi sistemi fitodepuranti deve essere fatta nelle seguenti modalità e accorgimenti:

- le piante non devono ricoprire tutto lo specchio d'acqua;
- deve essere previsto un controllo almeno quindicinale sulle piante invasive;
- nei sistemi a flusso superficiale una volta all'anno le macrofite devono essere rimosse e smaltite;
- nei sistemi a flusso sub-superficiale lo sfalcio deve essere eseguito una volta l'anno;
- per i sistemi a flusso orizzontale si procede alla rimozione dei residui solo dopo i primi due sfalci, dopo il secondo o terzo anno di esercizio del sistema vengono lasciate in loco per formare una lettiera di materiale che proteggerà dagli sbalzi di calore e che sarà una fonte di carbonio per la denitrificazione;
- per i sistemi a flusso verticale i vegetali devono essere rimossi ad ogni sfalcio.

2.3.3. Le vasche di fitodepurazione all'Orto Botanico di "Città Studi"

Presso l'Orto Botanico di "Città Studi", nel complesso dell'Università degli Studi di Milano, è stato realizzato un impianto sperimentale di fitodepurazione comprendente:

- una vasca a flusso superficiale con macrofite radicate emergenti e non radicate flottanti.
- una vasca a flusso superficiale di controllo con il solo substrato.
- una vasca a flusso sommerso verticale con macrofite radicate emergenti.
- una vasca a flusso sommerso verticale di controllo con solo il substrato.

Le due **vasche a flusso superficiale** sono state scavate, una di fianco all'altra, con una profondità di 50 cm, una larghezza di 40 cm ed una lunghezza di 250 cm. All'estremità delle due vasche, è stato scavato un canale profondo 70 cm ed è stato posizionato in esso un catino per vasca, in cui giungerà l'acqua al termine del trattamento parzialmente spostato per poter vedere la vasca sottostante.



Figura 2.3.3 – Le due vasche a flusso superficiale: a destra quella con la vegetazione a sinistra quella di controllo coperta da telo nero per evitare la crescita di alghe, nella foto il telo è stato

In primo piano si vede il bidone con l'acqua di alimentazione di entrambe le vasche.

Il fondo delle vasche è stato coperto con un doppio strato di tessuto impermeabile che continua fino alle bacinelle per consentire la raccolta dell'acqua in uscita. In ciascuna vasca è stato posto uno strato di sabbia, a granulometria fine, alto in media 25 cm. Per alimentare di acqua entrambe le vasche, è stato preparato un grosso contenitore (capienza 80 litri) con due tubi (uno per vasca) terminanti con un rubinetto per regolare il flusso d'acqua in entrata alle vasche. Lo spessore dell'acqua nelle vasche è stato in media di 15 cm ed il flusso è stato regolato a circa 100 mL/min che corrisponde a 6 litri/ora. Il contenitore dell'acqua in entrata è stato quotidianamente riempito di acqua proveniente dal laghetto presente nell'orto (acqua in entrata ricca di sostanza organica e nutrienti). In una delle due vasche sono state poste le lenticchie d'acqua e le canne di palude, provenienti dall'Orto Botanico stesso, l'altra, priva di vegetazione, è stata considerata come vasca di controllo. Ciascuna vasca è stata protetta da una rete al momento della messa in luogo della lenticchia d'acqua, al fine di impedire che gli uccelli possano danneggiare la vegetazione. Nella vasca superficiale di controllo la rete è stata coperta da un telo nero per impedire la proliferazione algale.



Figura 2.3.4 – Particolare del rubinetto di regolazione dell'acqua in entrata alla vasca superficiale con vegetazione.

Le due **vasche a flusso sommerso verticale** sono state scavate due vasche, una di fianco all'altra, con una profondità di 60 cm, una lunghezza di 1 m ed una larghezza di 1 m e per ogni vasca è stato scavato un canale laterale, profondo quanto esse in modo da raccogliere l'acqua in

uscita. Il fondo di entrambe le vasche è stato coperto da un doppio strato di tessuto impermeabile, il quale è stato forato in prossimità del canale laterale. Per ciascuna vasca è stato preparato un imbuto, riempito di ghiaia per evitare possibili intasamenti, collegato ad un tubo in cui percolerà l'acqua dopo il trattamento. L'imbuto è stato posto in corrispondenza del foro del telo con il tubo di uscita direzionato verso il canale laterale. Per tenere in posizione sia l'imbuto che il tubo di scolo, è stato realizzato un argine di terra che risultava anche argine della vasca stessa. La vasca è stata completamente riempita in successione da uno strato di ghiaia (10 cm) uno di sabbia a granulometria fine (30 cm) ed infine uno di ghiaia (10 cm). Per alimentare di acqua entrambe le vasche, è stato preparato un secondo contenitore con le stesse caratteristiche di quello del flusso superficiale. Anche il flusso di alimentazione delle vasche è stato regolato in maniera analoga alle altre due vasche (flusso in entrata di circa 6 litri/ora). Il secchio è stato quotidianamente riempito di acqua proveniente dal laghetto presente nell'orto. In una delle due vasche sono state poste le canne di palude, l'altra priva di vegetazione è stata considerata come controllo.



Figura 2.3.5 – Le due vasche a flusso sommerso verticale: in primo piano la vasca di controllo senza vegetazione ed in secondo piano quella con la canna di palude.



Figura 2.3.6 – Particolare del tubo in uscita di una delle due vasche a flusso sommerso verticale.

2.3.4. *La vegetazione nelle vasche di fitodepurazione all'Orto Botanico di "Città Studi"*

Lemna minor

Il genere *Lemna* comprende minuscole piante acquatiche che crescono spontanee nella maggior parte del mondo e che galleggiano sulla superficie dell'acqua dove formano tipici tappeti verdi. Le sue foglie sono ovali e lunghe dai 2 ai 6 mm, di spessore inferiore al mm; La pagina superiore è liscia e opaca, di colore verde-grigia-giallognola, a volte presenta sfumature rosse. Fiorisce molto raramente: i fiori maschili e quelli femminili sono circondati da brattee e sono contenuti in tasche marginali; sono minuscoli e di colore verde. Le nuove fronde spuntano alla base e si distaccano creando grandi colonie. Viene impiegata negli impianti di fitodepurazione in quanto riduce e previene lo sviluppo delle alghe, stabilizza il pH e migliora il processo di sedimentazione. E' molto efficace per la rimozione delle varie forme di azoto e fosforo; Inoltre ha il vantaggio di presentare una crescita regolare anche nei climi temperato-freddi.



Figura 2.3.7 – *Lemna minor* nella vasca a flusso superficiale.

Phragmites australis

Appartiene alla famiglia delle graminacee, che conta oltre 5000 specie. La canna di palude è una specie perenne, rizomatosa, con fusti alti da 1 a 3 metri, che raggiungono un diametro massimo di 1 cm. Le foglie sono di un colore grigiastro o verde glauco, con margine finemente dentellato ed esse avvolgono il fusto attraverso una guaina. L'infiorescenza consiste in una pannocchia lunga fino a 50 cm con fiori riuniti in gruppi di 3-8, racchiusi tra 2 glume. Il frutto è una cariosside, racchiusa in glumette. Si propaga tramite rizomi che consentono alla pianta di avere una grande potenzialità competitiva. La canna di palude è molto utilizzata negli impianti di fitodepurazione in quanto presenta un'ampia tolleranza alle variazioni climatiche (anche se un freddo eccessivo può danneggiarne la crescita), ed è in grado di vivere in acque fortemente eutrofe ed infine ha una notevole capacità produttiva in termini di biomassa. La canna di palude è stata la prima macrofita radicata emergente ad essere utilizzata nei sistemi di fitodepurazione (Vymazal, 2005).



Figura 2.3.8 – *Phragmites australis* nella vasca a flusso superficiale.

2.3.5. Parametri e metodi di analisi dell'acqua

I parametri di qualità dell'acqua analizzati in questo progetto sono: temperatura, ossigeno disciolto, pH, conducibilità, BOD₅, solidi sospesi, azoto totale, ammoniacale e nitrico e fosforo totale e minerale.

Temperatura, ossigeno disciolto, pH e conducibilità sono stati misurati mediante sonde da campo. Il BOD₅ è stato misurato mediante differenza della concentrazione di ossigeno a 5 giorni rispetto al momento del prelievo, misurata tramite la stessa sonda con cui si misura l'ossigeno disciolto. I solidi sospesi sono stati misurati gravimetricamente dopo essiccazione, mediante bilancia analitica. Alcalinità e durezza sono stati misurati mediante titolazione chimica in accordo con i metodi ufficiali APAT e IRSA–CNR (2003): metodo 2010 per l'alcalinità e metodo 2040 per la durezza. Le diverse forme di azoto (nitrico, ammoniacale e totale) e di fosforo (fosforo ortofosfato e totale) sono state misurate spettrofotometricamente, sempre secondo i metodi ufficiali APAT e IRSA–CNR (2003): metodo 4060 per azoto e fosforo totale, metodo 4030 per l'azoto ammoniacale, metodo 4040 per l'azoto nitrico, metodo 4110 per il fosforo ortofosfato.

Nei metodi chimici, per la preparazione delle soluzioni di reagenti e standard, i prodotti chimici puri sono stati pesati con la bilancia analitica quando il quantitativo da pesare era inferiore al grammo, mentre quando era superiore ad esso è stata utilizzata la bilancia tecnica. In entrambi i casi si otteneva una precisione almeno alla terza cifra significativa.

2.3.5.1. TEMPERATURA

La temperatura è l'espressione del movimento cinetico delle particelle.

Metodo: per la misurazione della temperatura dell'acqua è stato utilizzata la sonda termica dell'ossimetro dopo verifica del suo corretto funzionamento mediante termometro a mercurio.

2.3.5.2. OSSIGENO

L'ossigeno presente in un bacino può avere una origine atmosferica, oppure può essere prodotto dalla fotosintesi effettuata dai vegetali che vivono nell'acqua: questo elemento passa lentamente dal mezzo gassoso al mezzo liquido e lentamente si diffonde in quest' ultimo, in caso di sottosaturazione in acqua. La saturazione è la concentrazione massima di un gas in forma disciolta che può essere presente in un certo volume di acqua: essa è inversamente correlata alla temperatura e alla umidità dell'aria, mentre è direttamente correlata alla pressione parziale del gas. La percentuale di saturazione è il rapporto tra la concentrazione di ossigeno presente nel bacino e la concentrazione di saturazione a quelle condizioni di temperatura e pressione.

Metodo:

per rilevare la concentrazione dell'ossigeno disciolto e la percentuale di saturazione e stato utilizzato

un ossimetro a luminescenza (HQ 40D, sonda LDO, HACH, Colorado).

2.3.5.3. pH

Il pH è la misura dell'acidità/basicità di una soluzione in quanto è la misura della concentrazione degli ioni H^+ in Moli/L mediante il suo logaritmo negativo: $pH = -\text{Log} [H^+]$. Una soluzione acida è caratterizzata da un pH minore di 7, una soluzione basica è caratterizzata da un pH maggiore di 7 e una soluzione neutra ha un valore di pH intorno a 7.

Metodo:

Il valore del pH di una soluzione si rileva tramite un pHmetro che utilizza il metodo elettrochimico, in particolare la tensione elettrica (Volt) della pila tra le cui piastre è posta una soluzione salina (un ponte salino). È stato utilizzato il pHmetro portatile modello PH 6+ della Opto-lab (India). Prima delle misure lo strumento è stato tarato immergendolo in due soluzioni a pH noto.

2.3.5.4. CONDUCIBILITÀ

Per conducibilità dell'acqua si intende la sua capacità di condurre corrente elettrica. Questo parametro è una misura della quantità complessiva di ioni (cariche) in un mezzo acquoso e, quindi, è considerata anche una misura indiretta e relativa della quantità di nutrienti minerali presenti in acqua in forma ionica.

Metodo:

Le misurazioni della conducibilità si effettuano mediante una sonda (LF 91 della WTW, Germania.), attraverso misure di resistenza usando correnti alternate. La conducibilità è espressa in termini di conduttanza che è l'inverso della resistenza e, per le acque dolci, si misura in $\mu S/cm$ (S = Siemens).

2.3.5.5. SOLIDI SOSPESI

I solidi sospesi totali sono quelli recuperabili tramite filtrazione ed è la somma di particolato organico e minerale.

Metodo:

- Porre i filtri con porosità $1,2 \mu m$ e diametro 47 mm (Whatman) in contenitori contrassegnati (ad ogni campione delle vasche e ad ogni bianco è stato assegnato un filtro) in stufa e lasciarli essiccare alla temperatura di 110 gradi per 24 h.
- Pesare i filtri mediante bilancia analitica e conservarli in essiccatoio.
- Usando un cilindro graduato, prendere un volume noto del campione da filtrare.

- Filtrare sotto vuoto il volume noto di campione e recuperare il liquido filtrato mettendolo in contenitori contrassegnati per le analisi delle forme solubili.
- Mettere i filtri nei contenitori contrassegnati e porli in stufa alla temperatura di 110 gradi per 24 h.
- Pesare i filtri con la bilancia analitica.

Risultati:

La concentrazione dei solidi sospesi è pari a: (peso finale dei filtri – tara dei filtri) / volume filtrato; si esprime in mg/L.

2.3.5.6. BOD₅

La richiesta biochimica di ossigeno è la quantità di questo elemento necessaria per l'ossidazione biochimica delle sostanze contenute nell'acqua in cinque giorni.

Metodo:

- Porre nei contenitori contrassegnati 500 mL di ogni campione e 500 mL di acqua distillata per i bianchi, riempiendo fino all'orlo il contenitore, in modo che dopo la chiusura ermetica non rimangano delle bolle d'aria.
- Mediante l'ossimetro determinare la quantità di ossigeno presente in ciascun contenitore, facendo attenzione a non agitare l'acqua per non alterare il contenuto di ossigeno.
- Porre ciascun contenitore in un luogo buio.
- Dopo 5 giorni ripetere la misurazione della concentrazione di ossigeno.

Risultati:

Il BOD₅ per ciascun campione è pari a: concentrazione iniziale di ossigeno presente nel campione in mg/L – concentrazione finale di ossigeno presente nel campione sempre in mg/L e quindi il BOD₅ mantiene la stessa unità di misura.

2.3.5.7. ALCALINITA'

L'alcalinità misura la capacità di una soluzione di neutralizzare gli acidi e corrisponde, principalmente, alla concentrazione totale degli ioni carbonato e bicarbonato presenti in un certo volume d'acqua. Il metodo qui presentato si basa sul principio della titolazione.

Metodo:

Porre 100 mL di campione non filtrato sotto agitazione e aggiungere 2 gocce di fenoftaleina (sciogliere 0,5 g di fenoftaleina in 50 mL di etanolo e diluire a 100 mL con acqua distillata, la fenoftaleina in etanolo impiega due giorni per sciogliersi). Se si ottiene un colore rosa allora il pH > 8,2 e l'alcalinità è dovuta anche alla presenza di ioni OH⁻. In questo caso titolare con HCl 0,1 N fino al viraggio ad una situazione di trasparenza, annotare il numero di mL aggiunti di acido (F). Se non si è sviluppato un colore rosa dopo l'aggiunta di fenoftaleina, aggiungere 4 o 5 gocce di ù

indicatore misto (unire 0,02 g di rosso di metile a 0,1 g di verde di bromocresolo sciolti in 100 ml di etanolo) fino ad ottenere una soluzione verde, poi titolare con HCl fino al viraggio ad una colorazione viola, prendere ancora nota degli mL di acido aggiunti (M).

Risultati:

Applicare questa formula per il calcolo dell'alcalinità:

$$\text{meq/L} = \text{mL di HCl} * N_{\text{HCl}} * 1000 / \text{mL di campione}$$

L'alcalinità alla fenoftaleina espressa in meq/L si ottiene utilizzando nella formula generale gli mL di HCl (F) necessari al viraggio del primo indicatore. L'alcalinità all'indicatore misto espressa in meq/L si ottiene utilizzando nella formula generale gli mL di HCl (M) necessari al viraggio del secondo indicatore. L'alcalinità totale è data dalla somma di F e M.

2.3.5.8. DUREZZA

La durezza dell'acqua è la concentrazione totale dei metalli alcalino-terrosi, nell'acqua si trovano soprattutto ioni calcio e magnesio. Il metodo qui presentato si basa sul principio della titolazione.

Metodo:

Aggiungere a 60 mL di campione 3 mL di tampone ottenuto miscelando 34 mL di NH₃ concentrata in 500 mL di H₂O sotto cappa, unendo 5,3 g di cloruro di ammonio (NH₄Cl) e infine portando a 600 mL con acqua deionizzata; Il tampone può essere conservato in frigorifero. Aggiungere poi qualche goccia (da 1 a 5) di indicatore Eriocromo T (0,5 g di colorante nero eriocromo T e 4,5 g di idrossilamina cloridrato in 100 ml di etanolo al 96%), fino ad ottenere un colore rosa, infine titolare con EDTA (0,1 M) fino al viraggio dal rosa all'azzurro.

Risultati:

Per ottenere la durezza dell'acqua si moltiplicano per dieci gli mL di EDTA (0,1 M) e si ottiene la durezza dell'acqua espressa come concentrazione di carbonato di calcio in mg/L.

2.3.5.9. AZOTO NITRICO

La formazione dei nitriti e dei nitrati è dovuta all'azione dei batteri nitrificanti sull'ammonio rilasciato in seguito alla degradazione delle proteine. Dall'ossidazione dell'ammoniaca ad opera dei batteri *Nitrosomonas*, si ottiene l'azoto nitroso, dall'ossidazione di quest'ultimo ad opera dei batteri *Nitrobacter* si ottiene l'azoto nitrico.

Principio del metodo

I nitrati reagiscono, in ambiente acido (assicurato dalla presenza dell'acido solforico), con il salicilato di sodio, dando luogo ad una soluzione di colore giallo che, analizzata spettrofotometricamente, rivela la concentrazione di azoto nitrico presente nel campione.

Preparazione delle diluizioni per la retta di taratura:

- Soluzione concentrata di nitrato di potassio (0,1 g/L): pesare, con la bilancia analitica 0,3611 g di KNO_3 , aggiungere 0,5 ml di cloroformio e portare a 500 mL con acqua deionizzata. La soluzione si può conservare in contenitori di vetro in frigorifero.
- Soluzione 10 mg/L: prelevare 1 mL della soluzione 0,1 g/L e portare a 10 mL con acqua deionizzata.
- Soluzione 1 mg/L: prelevare 0,1 mL della soluzione 0,1 g/L e portare a 10 mL con acqua deionizzata.
- Soluzione 0,5 mg/L: prelevare 0,05 mL della soluzione 0,1 g/L e portare a 10 mL con acqua deionizzata.
- Soluzione 0,1 mg/L: prelevare 0,1 mL della soluzione 10 mg/L e portare a 10 mL con acqua deionizzata.
- Bianco: prelevare 10 mL di acqua deionizzata.

Procedimento:

- Prelevare 10 mL di ognuna delle soluzioni e dei campioni filtrati e aggiungere 1 mL di soluzione di salicilato di sodio (5 g/L) (pesare 0,05 g di salicilato di sodio e porlo in 10 mL di acqua deionizzata. Questa soluzione non si conserva e va preparata al momento dell'uso) e trasferire il tutto in capsule di porcellana.
- Mettere le capsule, contrassegnate con pennarello indelebile, in stufa a 110 gradi per 4 ore al fine di far evaporare l'acqua.
- Dopo aver lasciato raffreddare il tutto, operando sotto cappa, mettere in tutte le capsule 2 mL di acido solforico concentrato, avendo cura di bagnare tutto il residuo.
- Lasciar raffreddare il tutto per dieci minuti e poi aggiungere, in ogni capsula e in questo ordine, 15 mL di acqua deionizzata e poi 15 mL di soluzione di tartrato di sodio e di potassio e di idrossido di sodio (operando sotto cappa, pesare 60 g di NaOH e 9 g di tartrato di sodio e potassio. Portare al volume di 150 mL con di acqua deionizzata forte reazione esotermica. Dopo raffreddamento, la soluzione si conserva a temperatura ambiente in contenitori di polietilene), avendo cura di miscelare dopo ogni aggiunta. Si ha una forte reazione esotermica.

Determinazione analitica

In presenza di nitrati si sviluppa una colorazione gialla stabile per almeno un'ora. Lettura allo spettrofotometro alla lunghezza d'onda di 420 nm con celle di 1 cm di cammino ottico.

Risultati:

La determinazione della concentrazione di nitrato nei campioni si ottiene dall'equazione della retta

di regressione ottenuta tramite interpolazione lineare dei valori di assorbanza delle diluizioni in cui il nitrato è a titolo noto. Per la regressione l'assorbanza è posta come variabile indipendente (x) e la concentrazione in mg/L come variabile dipendente (y) in modo da poter utilizzare direttamente l'equazione nel caso dei campioni di cui si conosce l'assorbanza mentre la concentrazione non è nota. Per l'azoto nitrico l'equazione della retta di taratura è la seguente:

$$y = 4,1804 * x \quad (n = 6, R^2 = 0.9999)$$

y = concentrazione in mg/L e x = assorbanza

2.3.5.10. AZOTO AMMONIACALE

L'ammoniaca è presente in aria in forma gassosa, mentre nel suolo o in acqua è presente in due forme, protonata e non protonata, in funzione del pH. L'ammoniaca si forma come prodotto finale della decomposizione della sostanza in condizioni anaerobiche, mentre, in presenza di condizioni aerobiche è solo un prodotto intermedio, presente solo in basse concentrazioni.

Principio del metodo

L'ammoniaca, reagendo con il salicilato di sodio e cloro, dà origine ad un derivato dell'indofenolo che, in ambiente alcalino e in presenza di nitroprussiato sodico (il quale agisce da catalizzatore), dà origine ad una soluzione di colore verde-blu, la quale, tramite lettura allo spettrometro, rivela la quantità di questa forma di azoto presente nel campione.

Preparazione soluzioni per la retta di taratura:

- Soluzione madre di cloruro di ammonio (500 mg NH₃/L): pesare, con la bilancia analitica, 0,7415 g di cloruro di ammonio anidro (precedentemente seccato in stufa per due ore a 110 °C) e portare a un volume di 500 mL aggiungendo acqua deionizzata.
- Soluzione 1 mg/L: prelevare 0,2 mL della soluzione 500 mg NH₃/L e portare ad un volume di 100 mL aggiungendo acqua deionizzata.
- Soluzione 100 µg/L: prelevare 10 mL della soluzione 1 mg/L e portare ad un volume di 100 mL aggiungendo acqua deionizzata.
- Soluzione 10 µg/L: prelevare 1 mL della soluzione 1 mg/L e portare ad un volume di 100 mL aggiungendo acqua deionizzata.
- Soluzione 1 µg/L: prelevare 0,1 mL della soluzione 1 mg/L e portare ad un volume di 100 mL aggiungendo acqua deionizzata.
- Bianco: prelevare 50 mL di acqua deionizzata.

Procedimento

Controllare con il pHmetro tutti i campioni e gli standard, e, se si ha come risultato un pH inferiore a 7, neutralizzare tutti i campioni e tutte le diluizioni, con una soluzione di idrossido di sodio (sciogliere 2 g di idrossido di sodio in mezzo litro di acqua), in quanto il metodo richiede un pH alcalino. Se non dovesse rivelarsi necessario passare oltre.

Prelevare 50 mL di tutte le diluizioni per la retta di taratura, del bianco e dei campioni filtrati, aggiungere in ordine e agitando dopo

- 2 mL della soluzione di nitroprussiato di sodio e di salicilato di sodio (per prepararla sciogliere 0,5 g di nitroprussiato di sodio e 42,5 g di sodio salicilato in 250 mL di acqua, la soluzione si può conservare per due settimane in bottiglia scura)
- 2 mL della soluzione ossidante: al momento dell'analisi unire tutta la soluzione di dicloroisocianurato di sodio (sciogliere 0,116 g di dicloroisocianurato di sodio in 20 mL di acqua Questa soluzione deve essere preparata al momento dell'analisi) a 80 mL della soluzione alcalina di citrato di sodio (pesare 20 g di citrato di sodio e 2 g di idrossido di sodio, poi sciogliere in 100 mL di acqua. Questa soluzione si può conservare in bottiglie di plastica ed è stabile per 6 mesi).

Determinazione:

Attendere 4 ore e procedere all'analisi spettrofotometrica entro le 24 ore complessive. Usare celle di cammino ottico di 4 cm alla lunghezza d'onda di 690 nm.

Risultati:

La determinazione della concentrazione di ammoniacale nel campione si ottiene dall'equazione della retta di regressione ottenuta tramite interpolazione lineare dei valori di assorbanza delle diluizioni in cui l'azoto ammoniacale è a titolo noto. Per la regressione l'assorbanza è posta come variabile indipendente (x) e la concentrazione in $\mu\text{g/L}$ come variabile dipendente (y) in modo da poter utilizzare direttamente l'equazione nel caso dei campioni, di cui si conosce l'assorbanza mentre la concentrazione non è nota.

Per l'azoto ammoniacale l'equazione della retta di taratura è la seguente:

$$y = 366,74 * x - 5,02 \quad (n = 6, R^2 = 0.9999)$$

y = concentrazione in $\mu\text{g/L}$ e x = assorbanza

2.3.5.11. AZOTO TOTALE

L'azoto totale è dato dalla somma dell'azoto organico e minerale presenti nel campione.

Principio del metodo:

La procedura prevede che tutti i composti dell'azoto, presenti nel campione, vengano trasformati in nitrati mediante l'utilizzo di una miscela ossidante alcalina in autoclave. Il nitrato viene poi quantificato allo spettrofotometro.

Preparazione delle soluzioni per la retta di taratura:

- Per preparare la soluzione madre seccare in stufa 4 g di glicina a 110 °C per due ore. Una volta raffreddata, poi, pesare 0,5357 g e portare ad 1 L di acqua deionizzata per ottenere una soluzione con una concentrazione pari a 100 mg N/L.

- Soluzione 10 mg/L: prelevare 1 mL della soluzione madre a 100 mg N/L e portare a 10 mL con acqua deionizzata.
- Soluzione 1 mg/L: prelevare 0,1 mL della soluzione madre a 100 mg N/L e portare a 10 mL con acqua deionizzata.
- Soluzione 0,1 mg/L: prelevare 1 mL della soluzione 1 mg/l e portare a 10 mL con acqua deionizzata.
- Soluzione con concentrazione di 0,01 mg/L: prelevare 0,1 mL della soluzione 1 mg/L e
- portare a volume a 10 mL con acqua deionizzata.
- Bianco: prelevare 10 mL di acqua deionizzata.

Procedimento:

- Digestione del campione: a 50 mL di campione, aggiungere in ordine: 7 mL di miscela ossidante (miscelare in ordine 50 g di $K_2S_2O_8$ (0.001%), 30 g di acido borico cristallino e 14 g di sodio idrossido in 1 L di acqua deionizzata. Preparare questa miscela sotto la cappa in quanto si verifica la liberazione di gas ed attendere che si raffreddi prima di usarla. Questa soluzione è stabile per due mesi se conservata al buio, per conservarla utilizzare una bottiglia di vetro scuro avvolta da alluminio provvista di targhetta di riconoscimento) e 0,3 g di $K_2S_2O_8$ (potassio perossidissolfato).
- Digestione soluzioni per retta di taratura: a 10 mL delle soluzioni standard aggiungere un quinto di miscela ossidante e un quinto di $K_2S_2O_8$. Per i campioni abbiamo digerito un volume di 50 mL, in quanto una parte di volume sarà poi utilizzata per la determinazione del fosforo totale e solo 10 mL per la determinazione dell'azoto totale.

Porre i campioni e le soluzioni per retta di taratura in autoclave per mezz'ora ad una temperatura di 120 gradi.

Acidificazione: prelevare 10 mL di campione digerito e unirli con 0,15 mL di acido solforico concentrato (98%). Effettuare lo stesso procedimento per tutte le soluzioni per la retta di taratura.

Determinazione:

Si utilizzano celle di quarzo aventi un cammino ottico di 1 cm in quanto ci si aspetta che l'acqua abbia una quantità relativamente alta di azoto totale e si effettua la lettura allo spettrometro ad una lunghezza d'onda di 220 nm.

Risultati:

La determinazione della concentrazione di azoto totale nel campione si ottiene dall'equazione della retta di regressione ottenuta tramite interpolazione lineare dei valori di assorbanza delle soluzioni standard in cui l'azoto totale è a titolo noto. Per la regressione l'assorbanza è posta come variabile indipendente (x) e la concentrazione in mg/L come variabile dipendente (y) in modo da poter utilizzare direttamente l'equazione nel caso dei campioni di cui si conosce l'assorbanza mentre la concentrazione non è nota.

Per l'azoto totale l'equazione della retta di taratura e la seguente:

$$y = 6,05 * x - 0,32 \quad (n = 6, R^2 = 0.9999)$$

y = concentrazione in mg/L e x = assorbanza

3.3.5.12. FOSFORO ORTOFOSFATO E FOSFORO TOTALE

Principio del metodo:

Gli ioni orto fosfato reagiscono con il molibdato di ammonio ed il potassio antimonil tartrato, in ambiente acido, formando un eteropoliacido che viene ridotto con acido ascorbico a blu di molibdeno conferendo una colorazione blu al campione.

Preparazione delle soluzioni per la retta di taratura valida sia per il fosforo ortofosfato che per il fosforo totale:

- Soluzione concentrata di fosforo: sciogliere 0,87874 g di diidrogenofosfato di potassio anidro KH_2PO_4 (seccato a 110 °C per due ore) in 1 L di acqua deionizzata. Si ottiene una soluzione di 0,2 g P/L;
- Soluzione 2000 $\mu\text{g/L}$: prelevare 10 mL della soluzione precedente e portare a 1 L con acqua deionizzata;
- Soluzione 200 $\mu\text{g/L}$: prelevare 5 mL della soluzione 2000 $\mu\text{g/L}$ e portare a 50 mL con acqua deionizzata;
- Soluzione 20 $\mu\text{g/L}$: prelevare 0,5 mL della soluzione 2000 $\mu\text{g/L}$ e portare a 50 mL con acqua deionizzata;
- Soluzione 2 $\mu\text{g/L}$: prelevare 0,05 mL della soluzione 2000 $\mu\text{g/L}$ e portare a 50 mL con acqua deionizzata;

Procedimento:

Aggiungere a 50 mL delle soluzioni standard, del bianco e dei campioni 1,5 mL di reagente misto che si ottiene in questo modo e che va preparato al momento dell'uso:

- 18 mL di soluzione di molibdato di ammonio (sciogliere 9,5 g di eptamolibdato (VI) di esammonio tetraidrato $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ in 100 mL di acqua. La soluzione impiega molto tempo per sciogliersi).
- 80 mL di soluzione di acido solforico (4,5 M) (Versare cautamente 250 mL di H_2SO_4 concentrato ($d=1,84$) in un matraccio tarato da 1000 mL contenente circa 600 mL di acqua; lasciar raffreddare e quindi portare a volume con acqua deionizzata. La soluzione viene conservata in bottiglia di vetro)
- 2 mL soluzione di potassio antimonil tartrato (sciogliere 3,25 g di potassio antimonil tartrato emiidrato in 100 mL di acqua, scaldando, se necessario, per favorire il processo).

Dopo l'aggiunta del reagente misto aggiungere 1,5 mL di acido ascorbico (sciogliere 7 g di acido ascorbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) in 100 mL di acqua).

Determinazione:

Dopo 5 minuti ed entro due ore dall'aggiunta dei reattivi, lettura spettrofotometrica a 882 nm di lunghezza d'onda usando celle di 4 cm di cammino ottico.

Risultati:

La determinazione della concentrazione di fosforo nel campione si ottiene dall'equazione della retta di regressione ottenuta tramite interpolazione lineare dei valori di assorbanza delle diluzioni in cui il fosforo è a titolo noto. Per la regressione l'assorbanza è posta come variabile indipendente (x) e la concentrazione in $\mu\text{g/L}$ come variabile dipendente (y) in modo da poter utilizzare direttamente l'equazione nel caso dei campioni di cui si conosce l'assorbanza mentre la concentrazione non è nota.

Per il fosforo l'equazione della retta di taratura è la seguente:

$$y = 674,43 * x - 12,96 \quad (n = 6, R^2 = 0.9999)$$

y = concentrazione in $\mu\text{g/L}$ e x = assorbanza

2.3.6. Risultati della sperimentazione con le vasche di fitodepurazione all'Orto Botanico di "Città Studi"

2.3.6.1 Analisi chimico-fisiche delle acque in entrata ed in uscita alle vasche di fitodepurazione

Le analisi chimico fisiche delle acque in entrata ed uscita dalle vasche sono state svolte in due tempi: circa un mese dopo l'installazione dell'impianto sperimentale di fitodepurazione (13 maggio 2014) e dopo quasi altri due mesi (8 luglio 2014). I risultati delle analisi chimico-fisiche dei campioni delle vasche sperimentali al primo campionamento sono riportati nelle tabelle 2.3.1.

Tabella 2.3.1 – Parametri chimico-fisici dei campioni di acqua prelevati il 13 maggio dalle vasche sperimentali. Nelle sigle dei campioni "a" e "b" si riferiscono a repliche dello stesso campione mentre E = acqua in entrata; S-P = flusso superficiale con vegetazione; S-C = flusso superficiale controllo senza vegetazione; V-P = flusso verticale con vegetazione; V-C = flusso verticale controllo senza vegetazione; W = acqua deionizzata.

Campione 13/05/14	Temp. °C	Cond. □S/cm	pH	O ₂ mg/L	O ₂ % saturaz	Alcalinità meq/L	Durezza mgCaCO ₃ /L
Ea	23,8	754	8,08	10,59	127,7	4,5	205
Eb	23,8	758	8,05	11,19	135	4,5	197
S-Pa	26,5	548	8,98	10,38	131,6	3,2	134
S-Pb	26,5	557	8,98	11,61	147	3,1	132
S-Ca	26,0	478	9,00	12,07	151,5	2,3	120
S-Cb	26,1	498	9,00	12,42	156	3,2	117
V-Pa	22,4	733	7,27	8,06	94,7	4,2	163
V-Pb	23,3	720	7,31	8,03	95,9	4,2	177
V-Ca	22,3	698	7,14	8,05	94,3	3,9	188
V-Cb	22,5	696	7,24	8,10	95,2	3,8	173
Wa	22,1	8	8,70	6,10	71,2	0,3	70
Wb	22,2	9	8,80	6,14	71,8	0,3	0

Tabella 2.3.1 continua

Cam p.	N tot mg N /L	NH ₄ ⁺ □g NH ₄ ⁺ /L	NH ₄ ⁺ □g N/L	NO ₃ ⁻ mg N /L	N- min mg N /L	N-org mg N /L	N- min %	NH ₄ ⁺ / min %	P tot □g P /L	PO ₄ ⁻⁻⁻ □g P /L	P org □g P /L	P min %
Ea	8,54	<1	<0,8	4,11	4,11	4,43	48,1	0,0	119	70	49	58,8
Eb	8,01	21	16	5,06	5,08	2,93	63,4	0,3	707	70	637	9,9
S-Pa	2,15	6	4	0,08	0,08	2,07	3,9	5,1	429	90	339	21,0
S-Pb	2,64	4	3	0,05	0,05	2,59	2,0	6,4	277	76	201	27,4
S-Ca	5,17	68	53	0,11	0,16	5,01	3,2	32,5	308	71	237	23,1
S-Cb	2,18	3	2	0,07	0,07	2,11	3,3	2,8	177	80	97	45,2
V-Pa	7,20	<1	<0,8	2,45	2,45	4,75	34,0	0,0	600	123	477	20,5
V-Pb	7,61	<1	<0,8	4,76	4,76	2,85	62,5	0,0	386	157	229	40,7
V-Ca	6,94	8	6	3,70	3,71	3,23	53,4	0,2	196	94	102	48,0
V-Cb	9,16	3	2	3,42	3,42	5,74	37,4	0,1	212	187	25	88,2
Wa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Le due repliche “a” e “b” per ogni vasca sommano tutti i fattori di variabilità sperimentale dovuti sia al campionamento (campioni presi in successione) sia alla fase analitica (variabilità analitico-strumentale). Quindi il confronto tra di esse è estremamente importante per la verifica dell'affidabilità dei risultati ottenuti. Il calcolo dei valori medi e le relative deviazioni standard permette una valutazione dell'affidabilità dei dati e la presenza di eventuali dati anomali (Tab.2.3.2).

Tabella 2.3.2 – Valori medi ± deviazione standard dei parametri chimico-fisici misurati nei campioni di acqua prelevati il 13 maggio dalle vasche sperimentali: E = acqua in entrata; S-P = flusso superficiale con vegetazione; S-C = flusso superficiale controllo senza vegetazione; V-P = flusso verticale con vegetazione; V-C = flusso verticale controllo senza vegetazione;

Campioni	Temp °C	Cond □S/cm	pH	O ₂ mg/L	O ₂ % saturaz	Alcalinità meq/L	Durezza mgCaCO ₃ / L
E	23,8±0,0	756±2,8	8,07±0,02	10,9±0,42	131,4±5,2	4,5±0,0	201±5,7
S-P	26,5±0,0	552,5±6,4	8,98±0,00	11,0±0,87	139,3±11	3,15±0,07	133±1,4
S-C	26,05±0,1	488±14	9,00±0,00	12,2±0,25	153,8±3,2	2,75±0,64	118,5±2,1
V-P	22,85±0,6	726,5±9,2	7,29±0,03	8,045±0,02	95,3±0,8	4,2±0,0	170±9,9
V-C	22,4±0,1	697±1,4	7,19±0,07	8,075±0,04	94,8±0,6	3,85±0,07	180,5±11

Tabella 2.3.2 continua

Cam p.	N tot mg N /L	NH ₄ ⁺ □g NH ₄ /L	NH ₄ ⁺ □g g N/L	N-NO ₃ ⁻ mg N /L	N-min mg N /L	N-org mg N /L	N-min %	NH ₄ /mi n %	P tot □g P /L	PO ₄ ⁻⁻⁻ □g P /L	P org □g g P /L	P min %
E	8,28±0,37	10,8±15	8,2±11	4,59±0,67	4,6±0,69	3,68±1,06	56±11	0,15±0,21	413±416	70±0,0	343±416	34±35
S-P	2,40±0,35	5±1,4	3,5±0,7	0,07±0,02	0,07±0,02	2,33±0,37	3,0±1,3	5,8±0,92	353±108	83±9,9	270±98	24±4,5
S-C	3,68±2,11	35,5±46	27,5±36	0,09±0,03	0,12±0,06	3,56±2,05	3,3±0,1	18±21	243±93	76±6,4	167±99	34±16
V-P	7,41±0,29	<1	<0,8	3,61±1,63	3,61±1,63	3,8±1,34	48±20	0±0,0	493±151	140±24	353±175	31±14
V-C	8,05±1,57	5,5±3,5	4±2,8	3,56±0,2	3,57±0,21	4,49±1,77	45±11	0,15±0,07	204±11	141±66	63,5±54	68±28

I risultati delle analisi chimico fisiche dei campioni delle vasche sperimentali al secondo campionamento (8 luglio 2014) sono riportati nelle tabelle 2.3.3 per i parametri chimico-fisici misurati. e in tabella 2.3.4 per il calcolo dei solidi sospesi.

Tab.2.3.3 – Parametri chimico-fisici dei campioni prelevati l'8 luglio dalle vasche sperimentali.

Campione	Temp. °C	Cond. \square S/cm	pH	O ₂ mg/L	O ₂ perc sat	Sol. Sosp mg/L	Alcalinità meq/L	Durezza mgCaCO ₃ /L
Ea	24,2	434	7,92	8,10	98,9	6,1	2,4	105
Eb	24,2	442	7,90	8,03	98,0	6,5	2,3	110
S-Pa	24,5	238	8,16	8,64	105,9	1,4	1,8	60
S-Pb	24,4	236	8,04	8,54	104,6	2,6	2,0	59
S-Ca	24,3	327	7,67	8,12	99,2	3,6	1,5	80
S-Cb	24,4	328	7,56	8,25	101,0	1,6	1,5	77
V-Pa	24,2	378	7,93	8,17	99,8	3,9	2,0	98
V-Pb	24,6	377	7,60	8,14	100,2	4,6	2,1	96
V-Ca	24,3	407	7,95	8,06	98,6	3,2	2,2	101
V-Cb	24,2	403	7,98	8,17	99,8	2,3	2,2	97
Wa	26,2	5	8,76	6,34	80,3	0,0	0,2	0
Wb	26,4	5	8,85	6,25	79,4	0,0	0,2	0

Tabella 2.3.3 continua:

campioni	N tot		N- NH ₄ ⁺		N- N-min		N- N-org		NH ₄ /mi		P	
	mg N /L	NH ₄ ⁺ \square g NH ₄ /L	NH ₄ ⁺ \square g N/L	NO ₃ ⁻ mg N /L	mg N /L	mg N /L	mg N /L	%	n %	P tot \square g P /L	PO ₄ ⁻⁻⁻ \square g P /L	P org \square g P /L
Ea	1,43	9	7	0,08	0,09	1,34	6,1	7,9	122	12	110	9,8
Eb	0,63	1	1	0,11	0,11	0,52	18	0,77	70	11	59	16
S-Pa	0,29	1	1	0,05	0,05	0,24	18	1,7	36	12	24	33
S-Pb	0,47	1	1	0,05	0,05	0,42	11	1,1	57	10	47	18
S-Ca	1,64	229	178	0,47	0,65	0,99	40	28	111	35	76	32
S-Cb	1,42	261	203	0,54	0,74	0,68	52	27	107	44	63	41
V-Pa	1,68	<1	<0,8	0,10	0,10	1,58	6,0	<0,80	159	162	0	100
V-Pb	0,96	<1	<0,8	0,11	0,11	0,85	11	<0,73	189	161	29	85
V-Ca	0,84	<1	<0,8	0,55	0,55	0,29	65	<0,15	154	163	0	100
V-Cb	0,63	<1	<0,8	0,18	0,18	0,45	29	<0,44	169	161	0	95
Wa												
Wb												

Tabella 2.3.4 - Calcolo dei solidi sospesi dei campioni prelevati l'8 luglio dalle vasche sperimentali.

Campione	tara filtri g	peso finale filtri g	volume filtrato ml	S.S. g	S.S. mg/L	S.S. corr mg/L
Ea	0.09204	0.09317	200	0.00113	5.7	6.1
Eb	0.09357	0.09478	200	0.00121	6.1	6.5
S-Pa	0.09342	0.09362	200	0.00020	1	1.4
S-Pb	0.09245	0.09289	200	0.00044	2.2	2.6
S-Ca	0.09321	0.09385	200	0.00064	3.2	3.6
S-Cb	0.09241	0.09265	200	0.00024	1.2	1.6
V-Pa	0.09361	0.09431	200	0.00070	3.5	3.9
V-Pb	0.09209	0.09293	200	0.00084	4.2	4.6

V-Ca	0.09179	0.09235	200	0.00056	2.8	3.2
V-Cb	0.09331	0.09368	200	0.00037	1.9	2.3
Wa	0.09342	0.09336	200	-0.00006	-0.3	0
Wb	0.09344	0.09333	200	-0.00011	-0.5	0

Il fatto che il peso finale dei filtri dei due bianchi sia maggiore del peso iniziale è dovuto ad un residuo di umidità rimasto sul filtro dopo la prima essiccazione in stufa oppure ad una minima perdita di materiale dal filtro durante la filtrazione. Per questo motivo ad ogni campione è stato aggiunto il valore assoluto della media dei solidi sospesi dei due bianchi (0.4 mg/L) ottenendo così un nuovo valore relativo ai solidi sospesi nei campioni (S.S corr).

Nella tabella 2.3.5 sono riportati i valori medi e le relative deviazioni standard delle analisi effettuate a luglio 2014.

Tabella 2.3.5 – Valori medi \pm deviazione standard dei parametri chimico-fisici misurati nei campioni di acqua prelevati l'8 luglio dalle vasche sperimentali.

campio ni	Temperat ura °C	Conducibili tà □S/cm	pH	O ₂ mg/L	O ₂ % saturaz	solidi sosp mg/l	Alcalinit à meq/L	Durezza mgCaCO ₃ /L
E	24,2±0,0	438±5,7	7,91±0,01	8,07±0,05	98,45±0,6	6,3±0,3	2,35±0,07	107,5±3,5
S-P	24,45±0,1	237±1,4	8,10±0,08	8,59±0,07	105,25±0,9	2,0±0,8	1,85±0,14	59,5±0,7
S-C	24,35±0,1	327,5±0,7	7,62±0,08	8,18±0,09	100,1±1,3	2,6±1,4	1,5±0,00	78,5±2,1
V-P	24,4±0,3	377,5±0,7	7,77±0,23	8,16±0,02	99,4±0,3	4,3±0,5	2,05±0,07	97±1,4
V-C	24,25±0,1	405±2,8	7,97±0,02	8,12±0,08	99,2±0,9	2,8±0,6	2,2±0,00	99±2,8
W	26,3±0,1	5±0,0	8,81±0,06	6,32±0,06	79,85±0,6	0,0±0,0	0,2±0,00	0±0,0

Tabella 2.3.5 – continua

Cam p.	N tot mg N /L	NH ₄ ⁺ □g NH ₄ /L	NH ₄ ⁺ □g N/L	N-NO ₃ ⁻ mg N /L	N-min mg N /L	N-org mg N /L	N-min %	NH ₄ /mi n %	P tot □g P /L	PO ₄ ⁻⁻⁻ □g P /L	P org □g g P /L	P min %
E	1,03±0,57	5,0±5,4	3,8±4,2	0,1±0,02	0,1±0,01	0,93±0,58	12,±8,4	4,3±5,0	96±37	12±0,7	85±36	13±4,1
S-P	0,38±0,13	1±0,3	0,7±0,2	0,05±0,00	0,05±0,00	0,33±0,13	15±5,0	1,4±0,42	47±15	11±1,4	36±16	25±11
S-C	1,53±0,16	245±23	191±18	0,51±0,05	0,70±0,06	0,84±0,22	46±8,5	28±0,71	109±2,8	40±6,4	70±9,1	36±6,8
V-P	1,32±0,51	<1	<0,8	0,11±0,01	0,11±0,01	1,22±0,52	8,5±3,5	0,77±0,05	174±21	162±1	15±20	92±11
V-C	0,74±0,15	<1	<0,8	0,37±0,26	0,37±0,26	0,37±0,11	47±25	0,3±0,21	162±11	162±1	0	100

Nella tabella 2.3.6 sono riportate le analisi per il calcolo del BOD₅ dei campioni di maggio e nella tabella 2.3.7 la media e la deviazione standard del BOD₅ corretto sempre dei campioni di maggio.

Tabella 2.3.6- Analisi per il calcolo del BOD₅ dei campioni prelevati a maggio in entrata ed in uscita alle vasche di fitodepurazione

Campioni 13/05/14	Misure iniziali			Misure finali			BOD ₅	BOD ₅
	O ₂ mg/L	Temp. °C	O ₂ % saturaz	O ₂ mg/L	Temp. °C	O ₂ % saturaz	misurato mg/L	corretto mg/L
Ea	10,59	23,8	127,7	4,92	24,2	59,5	5,67	6,32
Eb	11,19	23,8	135,0	4,32	24,3	52,3	6,87	7,52
S-Pa	10,38	26,5	131,6	0,51	24,3	6,1	9,87	10,52
S-Pb	11,61	26,5	147,0	4,44	24,2	53,6	7,17	7,82
S-Ca	12,07	26,0	151,5	5,59	24,3	67,6	6,48	7,13
S-Cb	12,42	26,1	156,0	5,36	24,2	64,9	7,06	7,71
V-Pa	8,06	22,4	94,7	6,14	24,2	74,2	1,92	2,57
V-Pb	8,03	23,3	95,9	5,92	24,2	71,6	2,11	2,76
V-Ca	8,05	22,3	94,3	7,08	24,2	85,6	0,97	1,62
V-Cb	8,10	22,5	95,2	6,97	24,2	84,3	1,13	1,78
Wa	6,10	22,1	71,2	6,81	24,3	82,5	-0,71	0
Wb	6,14	22,2	71,8	6,73	24,3	81,5	-0,59	0

Bianchi con BOD₅ negativo vuol dire che c'è stato un ingresso di ossigeno o aria. I barattoli utilizzati avevano una chiusura con una bombatura tale da mantenere un piccolo volume di aria, quindi l'aumento di ossigeno misurato nei bianchi è da attribuire a questo fattore, pertanto deve essere aggiunto al consumo dei batteri (BOD₅ corretto).

Tabella 2.3.7 - Media e deviazione standard de BOD₅ corretto dei campioni prelevati a maggio:

campione	BOD ₅ corr. mg/l
E	6,92±0,85
S-P	9,17±1,91
S-C	7,42±0,41
V-P	2,97±0,13
V-C	1,7±0,11

Nella tabella 2.3.8 sono riportate le analisi per il calcolo del BOD₅ dei campioni di luglio e nella tabella 2.3.9 la media e la deviazione standard del BOD₅ corretto sempre dei campioni di luglio.

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

Tabella 2.3.8 - *Analisi per il calcolo del BOD₅ dei campioni prelevati a luglio in entrata ed in uscita alle vasche di fitodepurazione.*

Campioni 11/07/14	Misure iniziali			Misure finali			BOD ₅	BOD ₅
	O ₂ mg/L	Temp. °C	O ₂ % saturaz	O ₂ mg/L	Temp. °C	O ₂ % saturaz	misurato mg/L	corretto mg/L
Ea	8,45	24,3	103,0	7,06	26,4	88,6	1,39	1,39
Eb	8,57	23,8	103,5	7,05	26,3	88,4	1,52	1,52
S-Pa	10,55	24,5	129,2	4,86	26,5	61,1	5,69	5,69
S-Pb	10,88	24,8	133,9	4,81	26,6	60,6	6,07	6,07
S-Ca	8,74	23,0	104,0	6,44	24,4	80,8	2,30	2,30
S-Cb*	8,34	23,0	99,4	6,93	26,3	86,7	1,41	1,51
V-Pa	7,42	23,3	88,8	6,14	26,5	77,2	1,28	1,28
V-Pb*	7,63	23,2	91,2	6,40	26,5	80,5	1,23	1,33
V-Ca	7,38	23,6	88,8	6,90	26,5	86,8	0,48	0,48
V-Cb*	7,60	23,4	91,2	7,08	26,5	89,1	0,52	0,62
Wa*	6,87	23,5	82,7	6,77	26,6	85,2	0,10	0
Wb*	6,75	23,3	80,9	7,05	26,5	88,7	-0,30	0

*campioni con tappo a vite al posto del tappo a pressione

Tabella 2.3.9 - *Media e deviazione standard del BOD₅ dei campioni prelevati a luglio*

campione	BOD ₅ corr. mg/l
E	1,46±0,09
S-P	5,88±0,27
S-C	1,91±0,56
V-P	1,31±0,04
V-C	0,55±0,10

2.3.7. Confronto dei parametri chimico-fisici in entrata ed in uscita alle vasche di fitodepurazione dell'Orto Botanico

TEMPERATURA

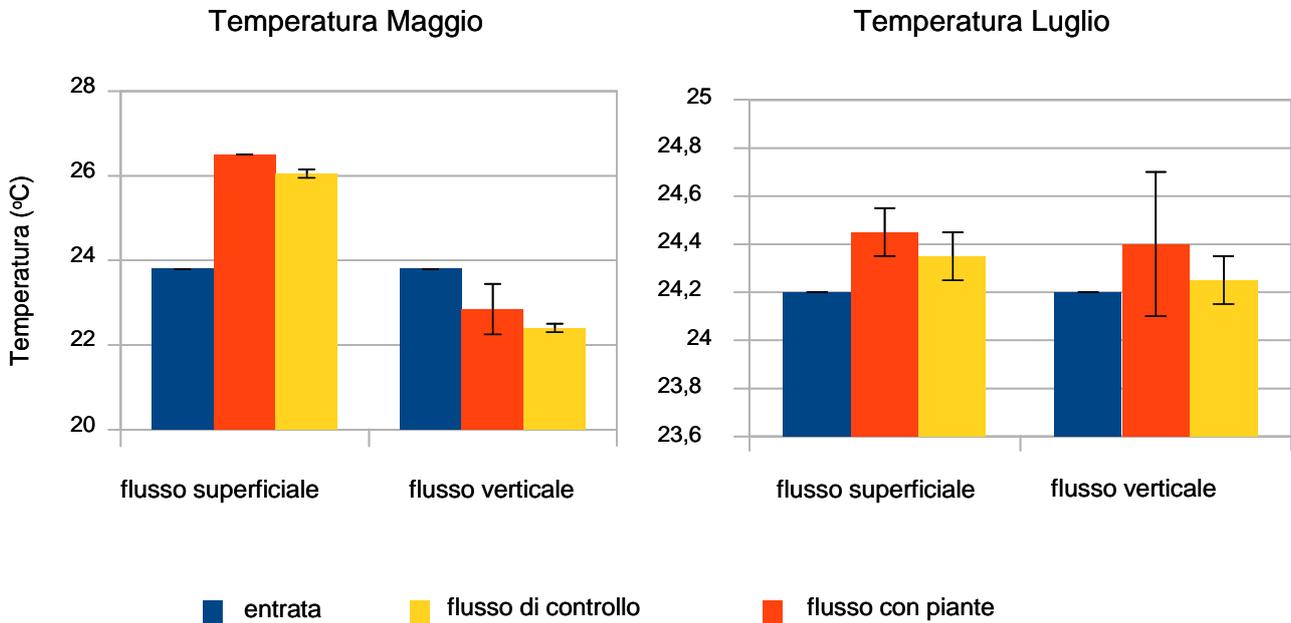


Figura 2.3.9 - Confronto tra le temperature medie in entrata e in uscita delle vasche sperimentali. Le barre si riferiscono alla deviazione standard.

La temperatura dell'acqua in uscita dalle vasche a flusso superficiale è maggiore della temperatura dell'acqua in entrata e di quella del flusso sommerso verticale per effetto della radiazione solare diretta. I due campionamenti sono stati effettuati in condizioni anomale rispetto alle medie stagionali dei due periodi di campionamento: a maggio le condizioni erano di tempo soleggiato e caldo; a luglio il cielo era coperto e la temperatura dell'aria era relativamente bassa; l'incremento di temperatura nelle vasche superficiali è risultato inferiore rispetto a maggio.

CONDUCIBILITA'

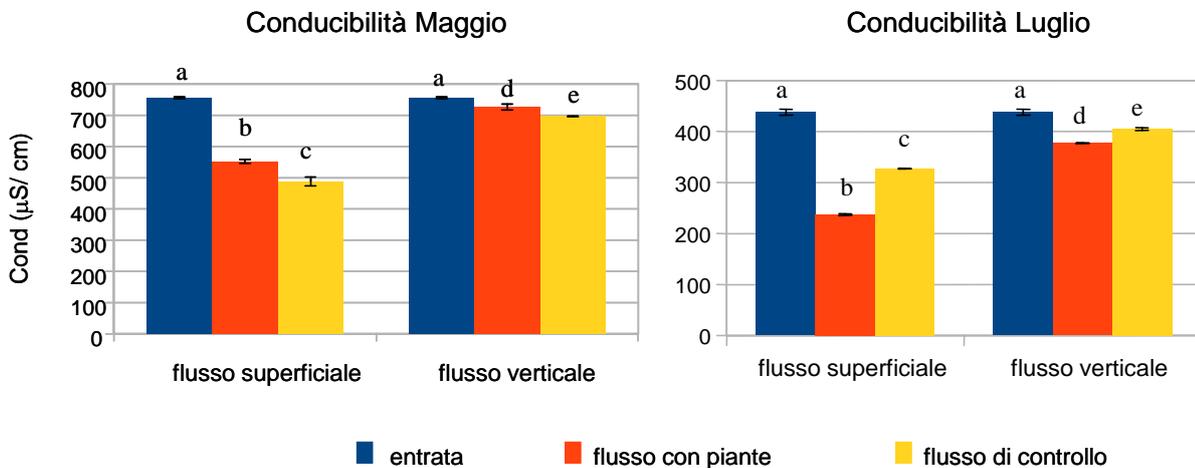


Figura 2.3.10 - Confronto tra conducibilità media in entrata e in uscita delle vasche sperimentali. Le barre si riferiscono alla deviazione standard e le lettere ai gruppi omogenei in base al test di Duncan con $p < 0,05$.

Entrambe le vasche del flusso superficiale presentano una conducibilità minore rispetto a quelle del flusso verticale, sia nel campionamento di maggio che in quello di luglio; in particolare per quanto concerne il campionamento di luglio si osserva che il flusso con piante, sia superficiale che verticale, presenta una conducibilità inferiore a quello del flusso di controllo, questo è imputabile al fatto che la vegetazione può utilizzare ioni e sostanze per il proprio sostentamento, ed essi, in questo modo, vengono sottratti all'acqua riducendo il valore della conducibilità. La differenza di conducibilità presente nei due tempi di campionamento è imputabile al maggiore sviluppo della vegetazione nel secondo periodo.

PH

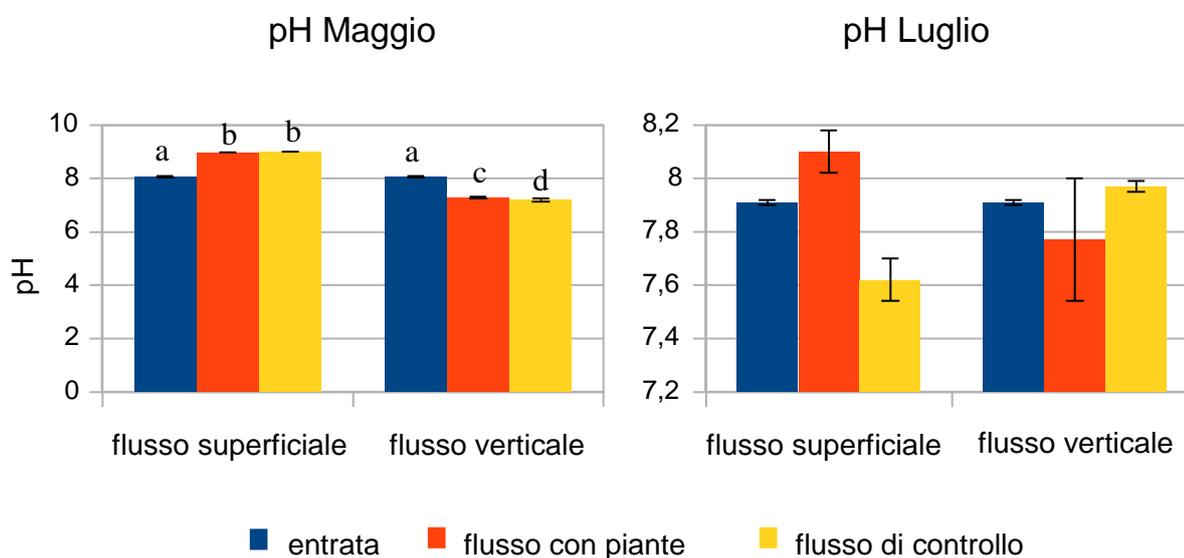
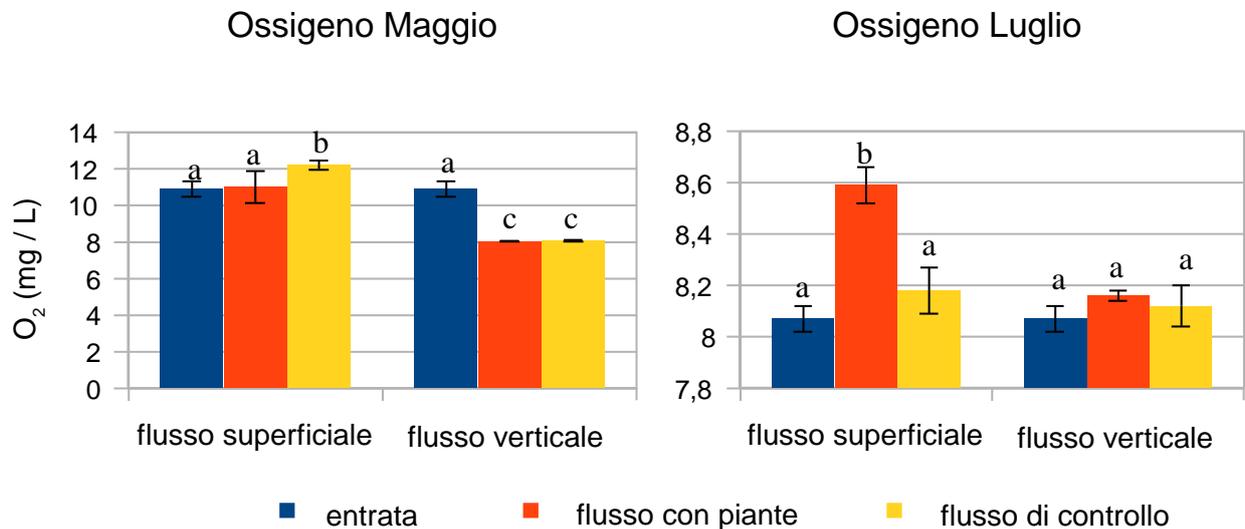


Figura 2.3.11 - Confronto tra pH medio in entrata e in uscita delle vasche sperimentali. Le barre si riferiscono alla deviazione standard e le lettere si riferiscono ai gruppi omogenei in base al test di Duncan con $p < 0,05$.

Il pH è un parametro dell'acqua intimamente legato all'alcalinità e all'attività biologica. L'idratazione dell'anidride carbonica, presente in un bacino, dà luogo all'acido carbonico che dà origine a ioni carbonato e bicarbonato grazie alla sua dissociazione: la costante di equilibrio di ciascuna reazione descritta e la concentrazione totale di anidride carbonica determinano il pH del liquido. In particolare, a pH pari a 8,5 si ha la prevalenza dello ione bicarbonato (che ha notevoli capacità tampone, cioè, per piccole aggiunte di acidi e basi, il parametro non subisce particolari variazioni e questo ha molta importanza per gli esseri viventi), a pH maggiori si ha prevalenza di ione carbonato (CO_3^{2-}) e a pH acido si ha la prevalenza di anidride carbonica.

Il pH aumenta in seguito ad una forte attività fotosintetica dal momento che all'acqua viene sottratta anidride carbonica, questo si nota particolarmente per il mese di luglio per il flusso superficiale, che presenta un forte sviluppo vegetativo; nel flusso verticale o in quello superficiale

di controllo, dove prevale la respirazione batterica, con aumento dell'anidride carbonica, si ha una diminuzione del pH, osservabile soprattutto a Maggio.



OSSIGENO

Figura 2.3.12 - Confronto tra la concentrazione media di ossigeno in entrata e in uscita delle vasche sperimentali. Le barre si riferiscono alla deviazione standard e le lettere si riferiscono ai gruppi omogenei in base al test di Duncan con $p < 0,05$.

A maggio il flusso superficiale di controllo presenta livelli di ossigeno maggiore rispetto al flusso con le piante per lo sviluppo algale in quanto la vasca non era ancora stata coperta dal telo nero, messo in posizione in un secondo momento. A luglio si nota una differenza significativa solo per il flusso superficiale con le piante, fatto imputabile alla colonizzazione da parte delle alghe che hanno arricchito di ossigeno l'acqua stessa grazie all'attività fotosintetica. La differenza della concentrazione di ossigeno tra il flusso superficiale e quello verticale è dovuta al fatto che il primo flusso è maggiormente a contatto con l'aria, mentre nel flusso verticale oltre ad una minore superficie di scambio è presente un consumo di ossigeno da parte dell'attività batterica all'interno del mezzo in cui l'acqua ha fluito come appare dalle analisi di maggio.

ALCALINITÀ

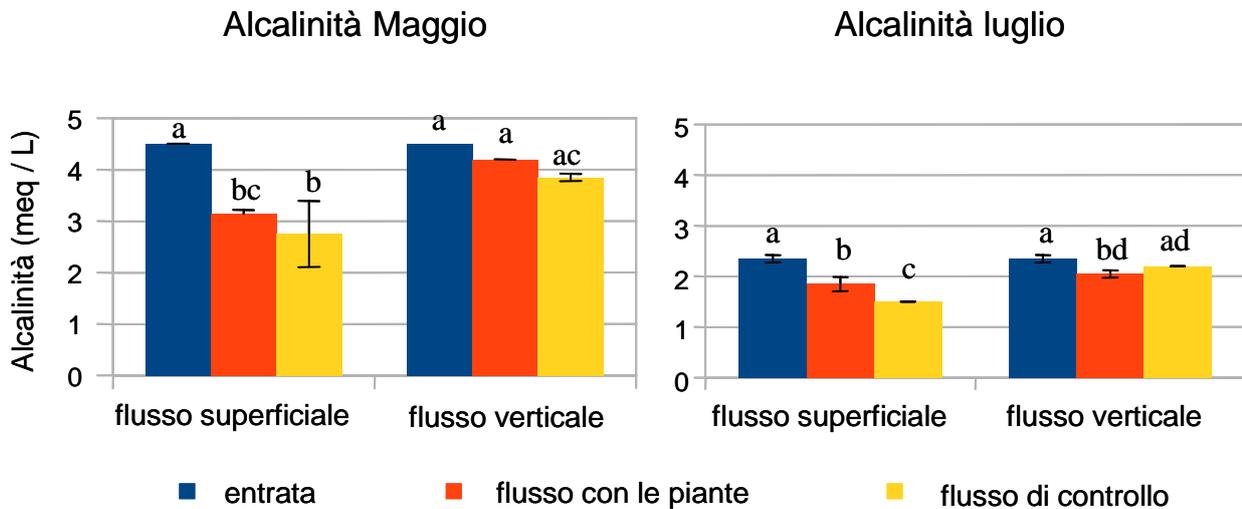


Figura 2.3.13 - Confronto tra l'alcalinità media in entrata e in uscita delle vasche sperimentali. Le barre si riferiscono alla deviazione standard e le lettere si riferiscono ai gruppi omogenei in base al test di Duncan con $p < 0,05$.

Le analisi di maggio e luglio rilevano delle differenze tra flusso superficiale e flusso verticale, con riduzioni maggiori di alcalinità per il flusso superficiale. Questo è da imputare al fatto che la fotosintesi algale nel flusso superficiale preleva anidride carbonica riducendo anche la quantità di carbonati/bicarbonati diminuendo così il valore di alcalinità dell'acqua (Tonolli, 2001). Anche la pioggia è un importante fattore di riduzione dell'alcalinità per il suo contenuto in agenti acidificanti. Luglio 2014 è stato un mese caratterizzato dalla presenza di nubifragi frequenti e infatti l'alcalinità dell'acqua sia in entrata che in uscita è inferiore rispetto a quella misurata a maggio.

DUREZZA

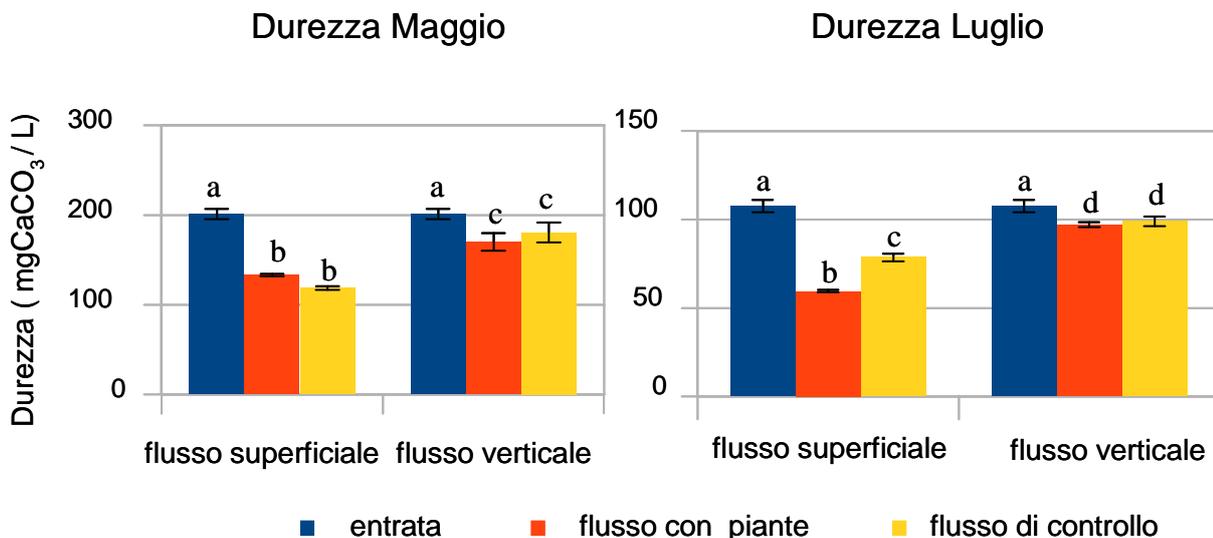


Figura 2.3.14 - Confronto tra la durezza media in entrata e in uscita delle vasche sperimentali. Le barre si riferiscono alla deviazione standard e le lettere si riferiscono ai gruppi omogenei in base al test di Duncan con $p < 0,05$.

La durezza è data dalla concentrazione totale di metalli alcalino-terrosi che sono usati dalle piante per la propria crescita. La differenza di durezza nei due periodi è da imputarsi ancora alle piogge che per sistemi acquatici così piccoli possono essere molto influenti.

AZOTO AMMONIACALE

Azoto ammoniacale Maggio

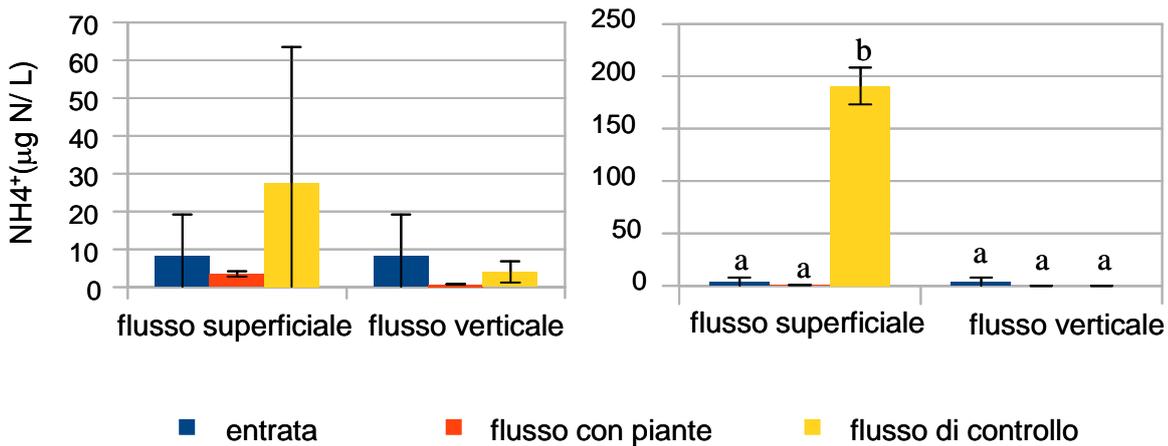
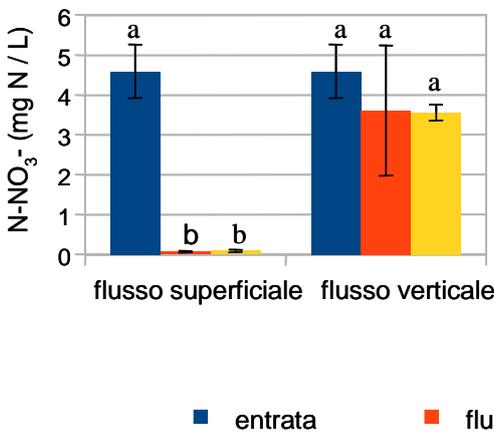


Figura 2.3.15 - Confronto tra l'azoto ammoniacale medio in entrata e in uscita delle vasche sperimentali. Le barre si riferiscono alla deviazione standard e le lettere si riferiscono ai gruppi omogenei in base al test di Duncan con $p < 0,05$.

Gli elevati livelli di ammoniaca a luglio nella vasca del flusso superficiale di controllo è da imputarsi alla moria delle alghe dopo la messa in posa del telo nero, la cui degradazione ha prodotto ammoniaca come prodotto intermedio del ciclo dell'azoto.

AZOTO NITRICO

Azoto nitrico Maggio



Azoto nitrico Luglio

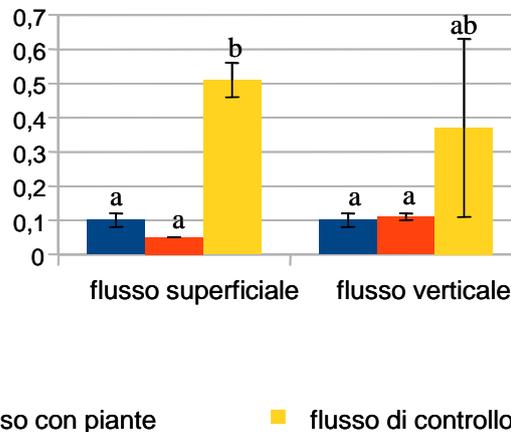


Figura 2.3.16 - Confronto tra l'azoto nitrico medio in entrata e in uscita delle vasche sperimentali. Le barre si riferiscono alla deviazione standard e le lettere si riferiscono ai gruppi omogenei in base al test di Duncan con $p < 0,05$.

La riduzione dell'azoto nitrico a maggio nelle due vasche a flusso superficiale si può spiegare con la forte presenza di alghe che utilizzano grandi quantitativi di azoto nitrico (a maggio nella vasca del flusso superficiale di controllo non era ancora stato posizionato il telo nero). Il flusso verticale caratterizzato dall'assenza di alghe e dal basso sviluppo vegetativo non ha mostrato particolari riduzioni di questa specie chimica. A luglio le due vasche di controllo dei due flussi hanno mostrato un evidente incremento di azoto nitrico per effetto della mineralizzazione batterica in assenza di prelievo da parte della vegetazione.

AZOTO ORGANICO

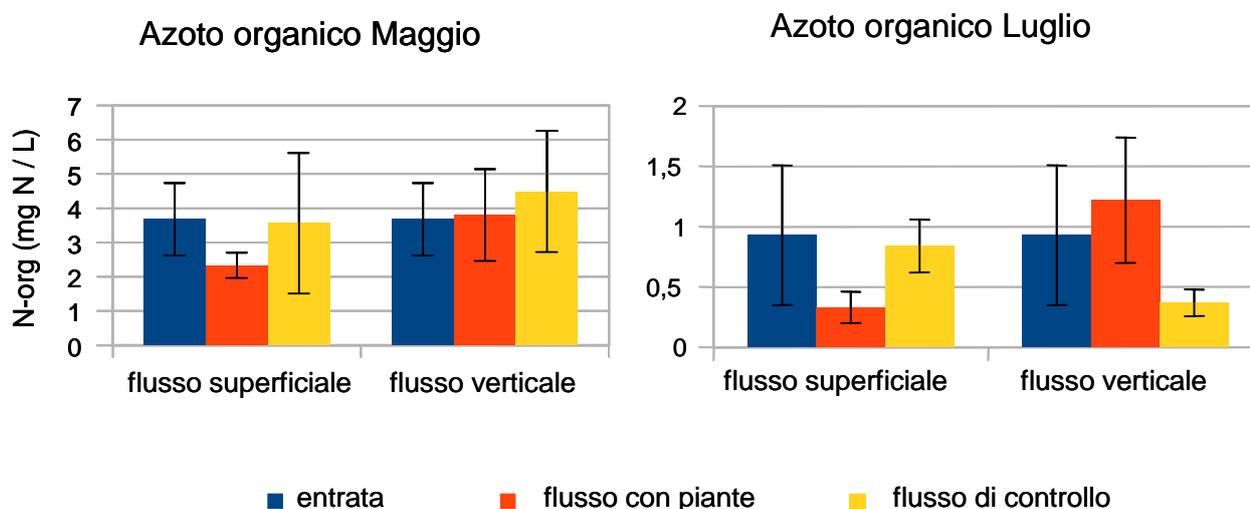


Figura 2.3.17 - Confronto tra l'azoto organico medio in entrata e in uscita delle vasche sperimentali. Le barre si riferiscono alla deviazione standard e le lettere si riferiscono ai gruppi omogenei in base al test di Duncan con $p < 0,05$.

La riduzione dell'azoto organico non è risultata significativa per nessun tipo di flusso. Ci si poteva aspettare che la concentrazione di azoto organico per il flusso verticale fosse minore rispetto a quella del flusso superficiale per il maggiore effetto filtro di questo sistema, ma questo non è stato osservato forse per la non completa funzionalità delle vasche ai tempi dei campionamenti.

FOSFORO MINERALE

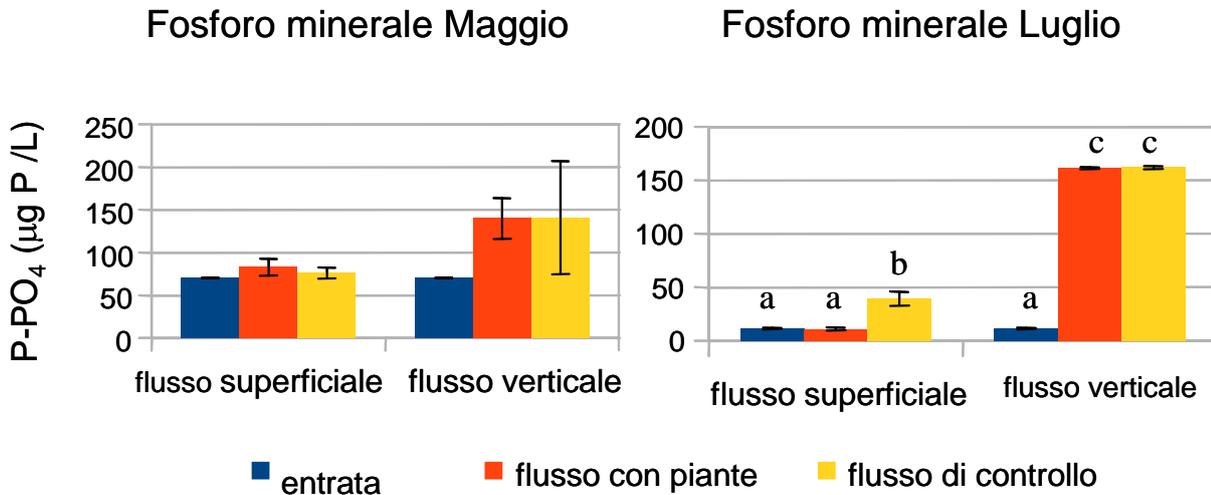


Figura 2.3.18 - Confronto tra il fosforo minerale medio in entrata e in uscita delle vasche sperimentali. Le barre si riferiscono alla deviazione standard e le lettere si riferiscono ai gruppi omogenei in base al test di Duncan con $p < 0,05$.

Entrambi i sistemi non evidenziano una riduzione del fosforo-ortofosfato che rappresenta il fosforo minerale nelle acque. Anzi il flusso verticale ed anche il flusso superficiale di controllo a luglio evidenziano un aumento di questo nutriente. Questo si spiega con il fatto che nelle vasche di controllo si ha aumento di questa forma di fosforo dovuto alla mineralizzazione del fosforo organico.

FOSFORO ORGANICO

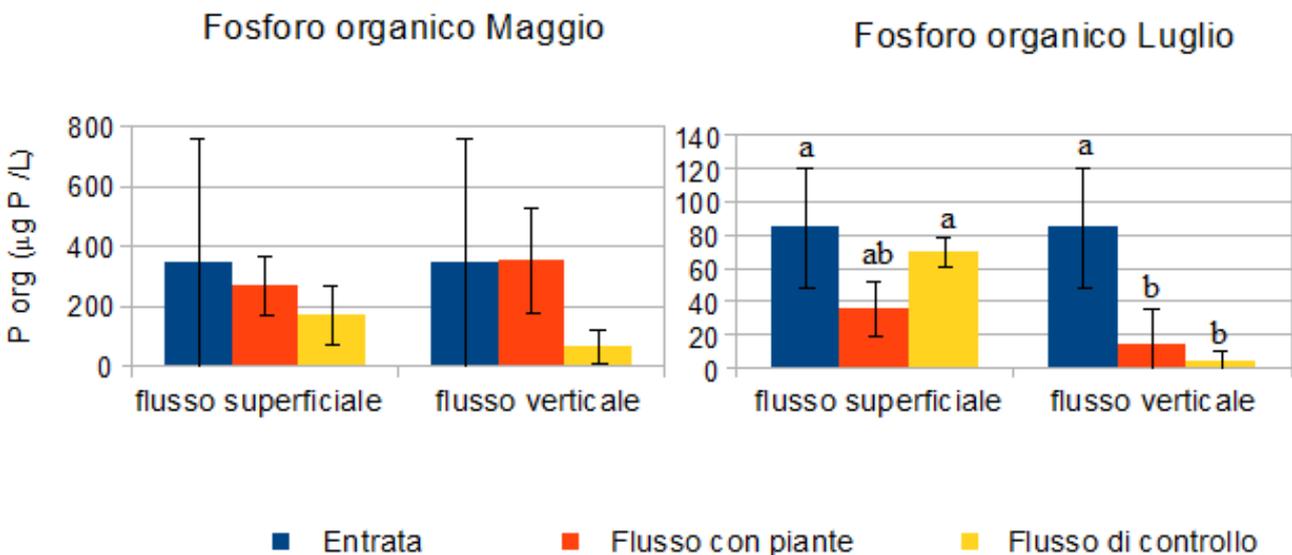


Figura 2.3.19 - Confronto tra il fosforo organico medio in entrata e in uscita delle vasche sperimentali. Le barre si riferiscono alla deviazione standard e le lettere si riferiscono ai gruppi omogenei in base al test di Duncan con $p < 0,05$.

La riduzione del fosforo organico evidenziata soprattutto a luglio è imputabile all'effetto di filtrazione unito al processo di mineralizzazione a conferma di quanto visto per il fosforo minerale.

BOD₅

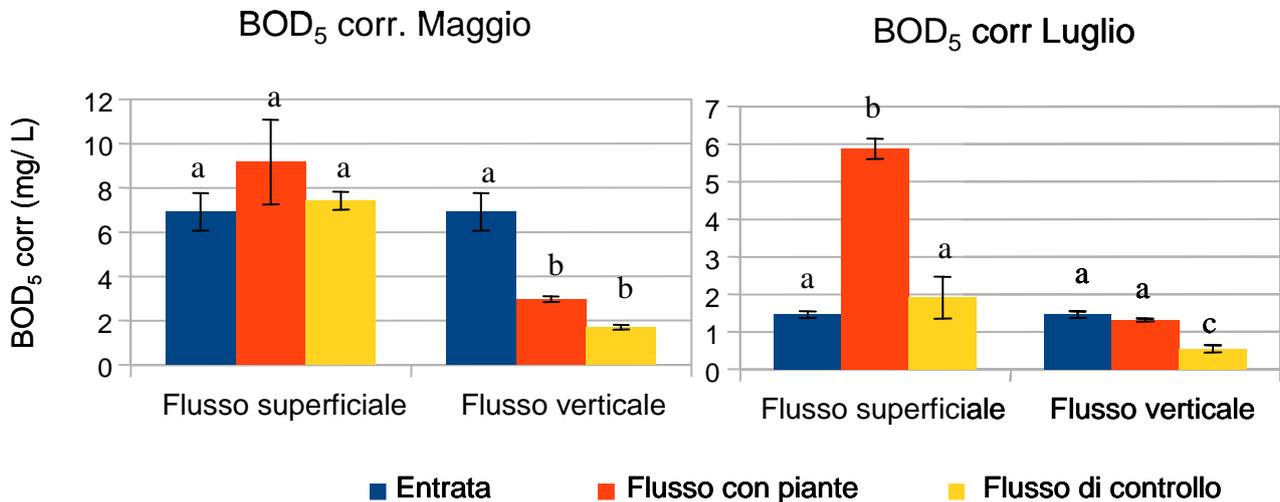


Figura 2.3.20 - Confronto tra i BOD₅ medi in entrata e in uscita delle vasche sperimentali. Le barre si riferiscono alla deviazione standard e le lettere si riferiscono ai gruppi omogenei in base al test di Duncan con $p < 0,05$.

La rimozione del BOD₅ dipende ancora una volta dal processo di filtrazione e di degradazione batterica, quindi, come visto in precedenza, il flusso verticale si distingue per una maggior capacità di riduzione del carico organico in funzione anche della sua maggiore area di contatto tra l'acqua e il film batterico.

SOLIDI SOSPESI

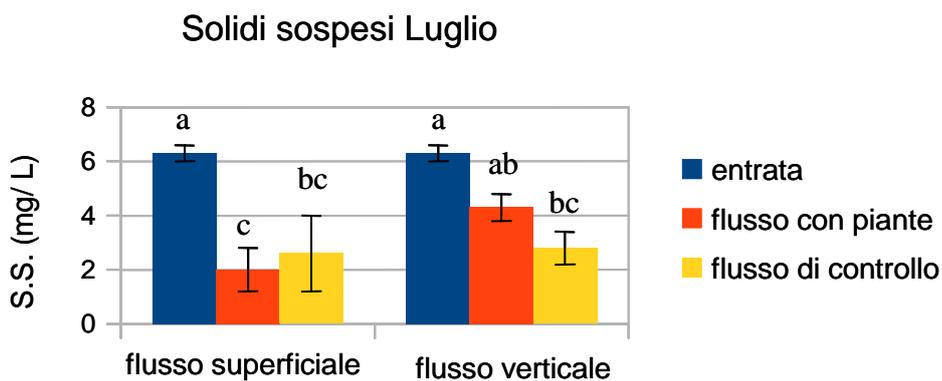


Figura 2.3.21 - Confronto tra i solidi sospesi medi in entrata e in uscita delle vasche sperimentali. Le barre si riferiscono alla deviazione standard e le lettere si riferiscono ai gruppi omogenei in base al test di Duncan con $p < 0,05$.

La determinazione dei solidi sospesi è stata effettuata solo per il mese di luglio. Entrambe le tipologie di flusso si sono rivelate efficaci nel ridurre i solidi sospesi. In particolare la vasca del flusso superficiale con piante ha mostrato la riduzione più marcata: questo è dovuto al fatto che gli apparati radicali delle lemne hanno avuto un forte impatto sulla sedimentazione.

2.3.8. Analisi della biomassa nelle vasche di fitodepurazione dell'Orto Botanico

Per poter valutare la crescita della vegetazione e il suo ruolo nel prelievo dei nutrienti dall'acqua è stata effettuata una valutazione della biomassa all'inizio e alla fine della sperimentazione separatamente per le due specie introdotte nelle vasche.

CANNA DI PALUDE

Phragmites australis ha avuto uno sviluppo consistente solo nella vasca a flusso superficiale: 44 nuovi fusti emessi in circa due mesi (Tabella 2.3.10). In quella a flusso verticale i nuovi fusti sono stati solo 14 e soprattutto il loro sviluppo è stato molto contenuto per mancanza di un substrato favorevole e di un flusso adeguato di acqua al loro apparato radicale.

Tabella 2.3.10- Numero di fusti di *Phragmites australis* nelle vasche a flusso orizzontale e verticale indipendentemente dalla loro altezza.

Vasche	N° fusti Attivazione impianto	N° fusti 08/07/14
Flusso superficiale	15	59
Flusso verticale	15	29

Per la determinazione quantitativa della biomassa si è deciso, quindi, di considerare solo per la vasca a flusso superficiale. Poiché le piante presentavano livelli di sviluppo differente, si è deciso di suddividerle in 3 categorie (alta media e bassa) in base alla loro altezza misurata sul campo.

Per la quantificazione del peso secco, si è effettuato un prelievo di una pianta per categoria: suddividendola poi in rizoma e fusto. Dopo l'essiccazione in stufa a 105 °C per 24 h sono stati pesati, mediante bilancia tecnica, separatamente i fusti e i rizomi (tabella 2.3.11). Il peso secco è la stima più usata per quantificare la biomassa.

Tabella 2.3.11 - Quantificazione della biomassa di campioni di canna di palude prelevati dalla vasca a flusso superficiale nel mese di luglio e stima della biomassa complessiva in g di peso secco (g p.s.).

CATEGORIA	intervallo h (cm)	n. fusti totali	peso singolo fusto (g p.s.)	peso singolo rizoma (g p.s.)	Peso singola Pianta (g p.s.)	Biomassa tot g p.s.
"alta"	90-100	2	2,77	0,84	3,61	7,22
"media"	70-80	7	1,03	1,55	2,58	18,06
"bassa"	40-50	50	1,13	0,17	1,30	65

In base a queste stime è stata calcolata la biomassa iniziale e finale nella vasca a flusso superficiale, considerando i primi 15 fusti che sono stati posti nell'impianto sono stati considerati appartenenti alla categoria "bassa" (tabella 2.3.12).

Tabella 2.3.12 - Incremento di biomassa ottenuto nella vasca a flusso superficiale tra maggio e luglio, Δt = intervallo di tempo di attività dell'impianto.

Biomassa iniziale g p.s.	Biomassa finale g p.s.	Incremento biomassa g p.s./ Δt
19,5	90,28	70,78

LENTICCHIA D'ACQUA

La colonizzazione della *Lemna minor* della vasca a flusso superficiale è stata molto rapida raggiungendo in un mese la copertura quasi totale della vasca. La lenticchia d'acqua è stata inserita in un secondo momento in quanto la colonizzazione con *Hydrocaris morsus-ranea* non è andata a buon fine. Per la quantificazione della biomassa prodotta abbiamo suddiviso le aree occupate dalla lemna in due tipologie a seconda della densità delle piante: una in cui la lemna si presentava molto densa e una in cui la lemna si presentava meno densa. Successivamente sono state misurate le aree occupate dalle due tipologie di densità delle lemne come somma di sottoaree di forma rettangolare di cui venivano misurati i lati con un metro. A questo punto sono state prese in considerazione due aree campione di superficie nota che fossero rappresentative delle due diverse tipologie di densità. In ognuna di esse sono state poi contate le piante prelevandole a mano e ponendole in una vaschetta ampia con acqua in modo da poter distinguere gli individui e contarli (tabella 2.3.13). La quantificazione del peso secco di 10 lemne è riportato in tabella 2.3.14.

Tabella 2.3.13 - Lenticchie d'acqua presenti nelle vasche durante il mese di luglio.

densità	Area totale cm ²	Area campione cm ²	individui / area campione	individui / cm ²	Individui totali
Zona"densa"	2419	25	379	15	36285
Zona"rada"	1780	25	224	9	16020

Tabella 2.3.14 - Lunghezza media delle radici di dieci piante prelevate in modo casuale dalla vasca, il peso totale secco delle dieci piante e il peso medio di una pianta. Il peso è stato quantificato con l'uso della bilancia analitica dopo aver essiccato le piante in stufa a 105 °C per 24 h.

numero piante	Lunghezza radice cm	peso totale piante mg p.s	peso di una pianta mg p.s./ind
10	5,5 ± 2,47	3,52	0,35

La biomassa finale risulta quindi pari a 12,77 g p.s. e 5,64 g p.s. rispettivamente per le due zone di differente densità. La biomassa complessiva risulta quindi pari a 18,41 g p.s. .

La biomassa iniziale è stata valutata considerando che nella vasca sono state trasferite lemne provenienti da una superficie di circa 600 cm², a densità alta, corrispondenti quindi a 9000 individui, aventi una biomassa pari a 3,17 g p.s.. L'incremento di biomassa è quindi pari a 15,24 g p.s./□t.

In base alla composizione media della biomassa delle due specie è possibile quindi stimare il prelievo di nutrienti da parte della vegetazione; in particolare è stata considerata la composizione elementare media sulla base del peso secco: l'azoto rappresenta il 4,35% del peso secco della lenticchia d'acqua e il 2,5% del peso secco della canna di palude; il fosforo rappresenta il 1,7% del peso secco della lenticchia d'acqua e lo 0,2% del peso secco della canna di palude (Bartoli e Viaroli, 2006).

A questo punto conoscendo l'incremento di biomassa ed il contenuto in nutrienti è possibile calcolare il prelievo di azoto (tabella 2.3.15) e di fosforo (tabella 2.3.16) nella vasca a flusso superficiale con piante durante il periodo della sperimentazione.

Tabella 2.3.15- Prelievo di azoto da parte della vegetazione nella vasca a flusso superficiale con piante durante il periodo della sperimentazione, Δt = intervallo di tempo di attività dell'impianto.

	Accrescimento g peso secco / Δt	Contenuto di N g N/g peso secco	Prelievo di N g N/ Δt
<i>Lemna minor</i>	15,24	0,0435	0,66
<i>Phragmites australis</i>	70,78	0,0250	1,77
totale	86,02		2,43

Tabella 2.3.16- Prelievo di fosforo da parte della vegetazione nella vasca a flusso superficiale con piante durante il periodo della sperimentazione, Δt = intervallo di tempo di attività dell'impianto.

	Accrescimento g peso secco / Δt	Contenuto di P g P/g peso secco	Prelievo di P g P/ Δt
<i>Lemna minor</i>	15,24	0,017	0,26
<i>Phragmites australis</i>	70,78	0,002	0,14
totale	86,02		0,40

Il calcolo della percentuale di azoto nitrico sottratto dalla vegetazione è stata eseguita in questo modo: moltiplicando il flusso d'acqua giornaliero (6 L/ora per 5 ore/giorno = 40 L/giorno) per il tempo di funzionamento dell'impianto sperimentale (40 giorni considerando 8 settimane di attività ed escludendo i sabati e le domenica in quanto in questi giorni non veniva effettuato il rifornimento dei vasconi che alimentano il flusso in entrata) si ottiene la quantità totale di acqua fluita nell'intero periodo di funzionamento dell'impianto è stata pari a 1600 L/ Δt (Δt = intervallo di tempo di attività dell'impianto). Per calcolare il prelievo di azoto e fosforo si possono utilizzare le concentrazioni medie in entrata ed in uscita della vasca a flusso superficiale con piante che è quella per la quale è stata quantificato l'accrescimento della biomassa. Per l'azoto il calcolo del prelievo operato dalla vasca nel suo complesso è riportato in tabella 2.3.17 per i due tempi di campionamento.

Tabella 2.3.17 – Concentrazioni medie di azoto minerale in entrata ed in uscita dalla vasca a flusso superficiale con piante durante i due campionamenti e calcolo del prelievo di azoto. I dati delle concentrazioni medie in entrata ed in uscita derivano dalla tabella 2.3.2 per il campionamento di maggio e 2.3.5 per quello di luglio.

elemento	Conc entrata mg N /L	Conc uscita mg N /L	Prelievo vasca mg N /L
maggio	4,6	0,07	4,5
luglio	0,1	0,05	0,05

I due prelievi calcolati risultano molto diversi tra loro e questo può essere spiegato da due cause: innanzitutto dalla differenza dell'acqua in entrata nei due momenti (differenza tra le concentrazioni di azoto minerale in entrata nei due tempi di campionamento da cui chiaramente dipende, almeno parzialmente, anche la qualità in uscita) ed in secondo luogo dalla diversa condizione di sviluppo in cui si trovava la vegetazione della stessa vasca nei due tempi. A causa di queste differenze si è deciso di considerare la media tra i due prelievi calcolati per i campionamenti di maggio e luglio, anche perché l'accrescimento della vegetazione copre appunto il periodo compreso tra i due campionamenti.

Moltiplicando il prelievo medio di azoto nella vasca a flusso superficiale con piante (pari a 2,275 mg N/L) per la quantità totale di acqua fluita (1600 L/□t), si ottiene 3640 mg N/□t ovvero 3,64 g N/□t. Questa è la quantità complessiva di azoto minerale sottratto dalla vasca in base alla differenza media della concentrazione di azoto in entrata ed in uscita dalla stessa vasca. Confrontando questo dato con la quantità di azoto prelevato dalla vegetazione nello stesso intervallo di tempo (2,43 g N/□t) si ottiene una percentuale del 67% di prelievo di azoto dovuto all'accrescimento della vegetazione. Anche se i calcoli sopra descritti lasciano un margine di incertezza notevole, il valore trovato, oltre che realistico, conferma il ruolo e l'importanza della vegetazione nel processo di fitodepurazione.

Per quanto riguarda la frazione minerale del fosforo, questa non ha mostrato una diminuzione evidente delle concentrazioni medie tra entrata ed uscita in entrambi i campionamenti (tabelle 2.3.2 e 2.3.5) a causa del rifornimento dovuto al carico interno e quindi non è stato possibile effettuare lo stesso calcolo riportato per l'azoto.

2.3.9. Analisi della qualità dell'acqua in uscita dalle vasche della fitodepurazione

Per avere un giudizio complessivo dell'efficacia dei prototipi di fitodepurazione realizzati, la qualità dell'acqua in uscita dalle vasche dell'impianto sperimentale è stata valutata prendendo in considerazione i valori limite per le acque superficiali stabiliti dal decreto legislativo n° 260 del 2010 (tabella 2.3.18).

Tabella 2.3.18 – Dati della tabella 4.1.2/ a del Decreto Legislativo n° 260 del 2010 inerente le tipologie di qualità dei corpi idrici superficiali in base a valori limite dei parametri contemplati.

	Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4	Livello 5
Punteggio	1	0.5	0.25	0.12	0
100-% saturazione O ₂	≤ 10	≤ 20	≤ 40	≤ 80	> 80
N-NH ₄ (mg/L)	≤ 0,03	≤ 0,06	≤ 0,12	≤ 0,24	> 0,24
N-NO ₃ (mg/L)	≤ 0,6	≤ 1,2	≤ 2,4	≤ 4,8	> 4,8
P tot (µg/L)	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	>400

Le soglie di concentrazione corrispondenti al Livello 1 sono state definite sulla base delle concentrazioni osservate in 115 campioni prelevati in 49 siti di riferimento, appartenenti a diversi tipi fluviali. In particolare, tali soglie, che permettono l'attribuzione di un punteggio pari a 1, corrispondono al 75° percentile (N-NH₄, N-NO₃, e ossigeno disciolto) o al 90° (fosforo totale) della distribuzione delle concentrazioni di ciascun parametro nei siti di riferimento. I siti di riferimento considerati fanno parte di un database disponibile presso CNR-IRSA. Ai cinque livelli di qualità per i diversi parametri corrispondono altrettanti punteggi, la cui media definisce il punteggio complessivo che serve per determinare la classe di qualità a seconda della tipologia fluviale considerata.

Dal momento che i cinque livelli considerati definiscono già di per sé delle soglie di qualità decrescenti, abbiamo attribuito direttamente ad ogni livello una classe di qualità, considerando il livello 1 come ottimo livello di qualità, il 2 come buono, il 3 come sufficiente, il 4 come scarso e il 5 come stato pessimo. Sulla base di questa classificazione le acque in uscita dalle quattro vasche sperimentali possono essere definite come riportato nelle tabelle 2.3.19 e 2.3.20 per i due periodi di campionamento.

Tabella 2.3.19 - Valutazione della qualità delle acque in uscita sulla base del valore medio dei rispettivi parametri misurati nel campionamento di maggio (vedi tabella 2.3.2).

Parametro	Superficiale piante	Superficiale controllo	Verticale piante	Verticale controllo
% saturazione O ₂	ottima	ottima	ottima	ottima
N-NH ₄ (mg/L)	ottima	buona	ottima	ottima
N-NO ₃ (mg/L)	ottima	ottima	scarsa	scarsa
P tot (µg/L)	scarsa	scarsa	pessima	scarsa

Dai risultati di maggio si osserva che il flusso superficiale con piante ha dato i risultati migliori raggiungendo livelli di qualità ottima per 3 parametri su 4. Il fosforo totale è risultato molto elevato

per tutti i trattamenti sperimentati. Bisogna ricordare che le analisi di maggio sono state realizzate all'inizio del funzionamento delle vasche e quindi in condizioni di sviluppo della vegetazione molto limitato.

Tabella 2.3.20 - Valutazione della qualità delle acque in uscita sulla base del valore medio dei rispettivi parametri misurati nel campionamento di luglio (vedi tabella 2.3.5).

Parametro	Superficiale piante	Superficiale controllo	Verticale piante	Verticale controllo
% saturazione O ₂	ottima	ottima	ottima	ottima
N-NH ₄ (mg/L)	ottima	pessima	ottima	ottima
N-NO ₃ (mg/L)	ottima	ottima	ottima	ottima
P tot (µg/L)	ottimo	sufficiente	sufficiente	sufficiente

Rispetto al mese di maggio c'è stata una maggiore efficacia nell'abbattimento dei nitrati da parte del flusso verticale e un netto miglioramento nella quantità di fosforo presente in acqua da parte di tutti i trattamenti, in particolare il flusso superficiale con piante raggiunge una qualità ottima in tutti e 4 i parametri considerati.

I risultati di luglio confermano l'ipotesi fatta in precedenza riguardo al limitato grado di sviluppo delle vasche a maggio e dimostrano ancora una volta l'efficacia di questi sistemi di depurazione per quanto riguarda il prelievo di nutrienti dall'acqua. Le piante infatti sia idrofile che igrofile prelevano i nutrienti presenti nell'acqua per il proprio sviluppo.

Per quanto riguarda le due specie utilizzate nella vasca a flusso superficiale, la canna di palude si conferma come specie ad elevato accrescimento in termini di biomassa, mentre la lenticchia d'acqua riesce a formare in breve tempo una copertura pressoché completa dello specchio d'acqua con conseguente limitazione dello sviluppo algale. Le due specie per le loro caratteristiche potrebbero essere adatte per utilizzi differenti: l'elevata biomassa della canna di palude potrebbe essere interessante per la produzione di bioenergia, mentre l'elevato contenuto in elementi fertilizzanti della lenticchia d'acqua potrebbe essere interessante per la produzione di compost di alta qualità.

2.3.10. La realizzazione della vasca di fitodepurazione presso l'Associazione Nocetum nella Valle dei Monaci

Presso l'Associazione Nocetum proprio all'ingresso della Valle dei Monaci è stata realizzata una piccola vasca di fitodepurazione collegata ad un piccolo laghetto utilizzato a scopo didattico per l'educazione ambientale del centro (figura 2.3.22).

a)



b)



c)



Figura 2.3.22 - a) laghetto con vegetazione acquatica dove è stata posizionata la ruota idraulica per sollevare l'acqua per attivare il flusso della vasca di fitodepurazione rappresentata nell'immagine b); c) particolare del canale di uscita dell'acqua dopo il passaggio nella vasca di fitodepurazione.

La vasca è stata realizzata sul lato del laghetto in modo da ricevere l'acqua ricca in nutrienti e poi restituirla al laghetto dopo il processo di fitodepurazione. Per attivare il flusso di acqua attraverso la vasca di fitodepurazione in modo da avere un flusso di entrata di acqua da depurare ed un flusso di uscita di acqua depurata era necessario

avere un dislivello che potesse attivare un flusso per gravità. Anziché una pompa elettrica sommersa, molto pratica ma poco didattica, si è deciso di costruire una ruota idraulica per l'evidente effetto visivo e il notevole valore didattico che questa soluzione poteva avere. Infatti, la ruota, attivata direttamente dai bambini che avrebbero seguito le attività di educazione ambientale del Centro, poteva essere l'occasione di trattare importanti temi quali il ciclo dell'acqua e l'energia. Inoltre avrebbe rappresentato un'importante e divertente attrazione per l'oggetto dell'intervento realizzato: il processo di fitodepurazione.

La ruota è stata costruita inizialmente interamente in legno con attaccati radialmente dei vasetti in plastica (contenitori di yogurt da bere) per il prelievo e il sollevamento dell'acqua. L'acqua sollevata ricade su un piano inclinato ottenendo un dislivello idraulico di circa 40 cm sufficiente per attivare il flusso di fitodepurazione e per avere un'uscita dell'acqua nel laghetto stesso, con una caduta tale da poter effettuare dei prelievi dell'acqua depurata (figura 2.3.22-c).

In seguito, il perno in legno inizialmente realizzato si è dimostrato troppo debole per le sollecitazioni durante il funzionamento della ruota; pertanto è stato sostituito con un perno in ferro collegato con uno snodo ad una barra in legno che, con una leva, aziona la rotazione della ruota. Quest'ultima versione, raffigurata in figura 2.3.22-a, si è rilevata adeguata per gli usi didattico/dimostrativi per i quali è stata realizzata.

La vasca di fitodepurazione vera e propria (figura 2.3.22-b) è stata scavata a mano ed il fondo è stato impermeabilizzato con un doppio strato di telo di plastica, poi interamente coperto da uno strato di sabbia nel centro e da un bordo di terra sui lati. La vasca è stata realizzata in modo tale da combinare le tipologie a flusso superficiale e a flusso sommerso orizzontale. Questa scelta è stata effettuata in base alle esperienze precedenti per ottimizzare le capacità depurative dei due sistemi: il flusso superficiale ha una notevole capacità di prelievo dei nutrienti disciolti, mentre il flusso sommerso ha un'elevata capacità filtrante per i solidi sospesi.

La vasca è stata poi completata con l'introduzione di un certo numero di piante acquatiche che rappresentassero un gradiente di sommersione decrescente: a profondità maggiore si collocano le piante acquatiche vere e proprie, poi ci sono quelle parzialmente sommerse normalmente facenti parte della vegetazione di riva. Le piante sono state reperite presso i Vivai Pronatura, un'associazione che raccoglie e riproduce la flora autoctona tipica della pianura lombarda.

Le piante collocate nella vasca sono state le seguenti:

- N° 4 *Sagittaria sagittifolia*
- N° 5 *Iris pseudacorus*
- N° 2 *Juncus effusus*
- N° 2 *Carex pendula*
- N° 2 *Carex pseudocyperus*
- N° 2 *Carex elata*

Le immagini relative alle piante introdotte sono riportate in figura 2.3.23.

Figura 2.3.22 - a) *Iris pseudacorus*; b) *Carex pendula*; c) *Carex elata*; d) *Juncus effusus*

a)



b)



c)



d)



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.



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



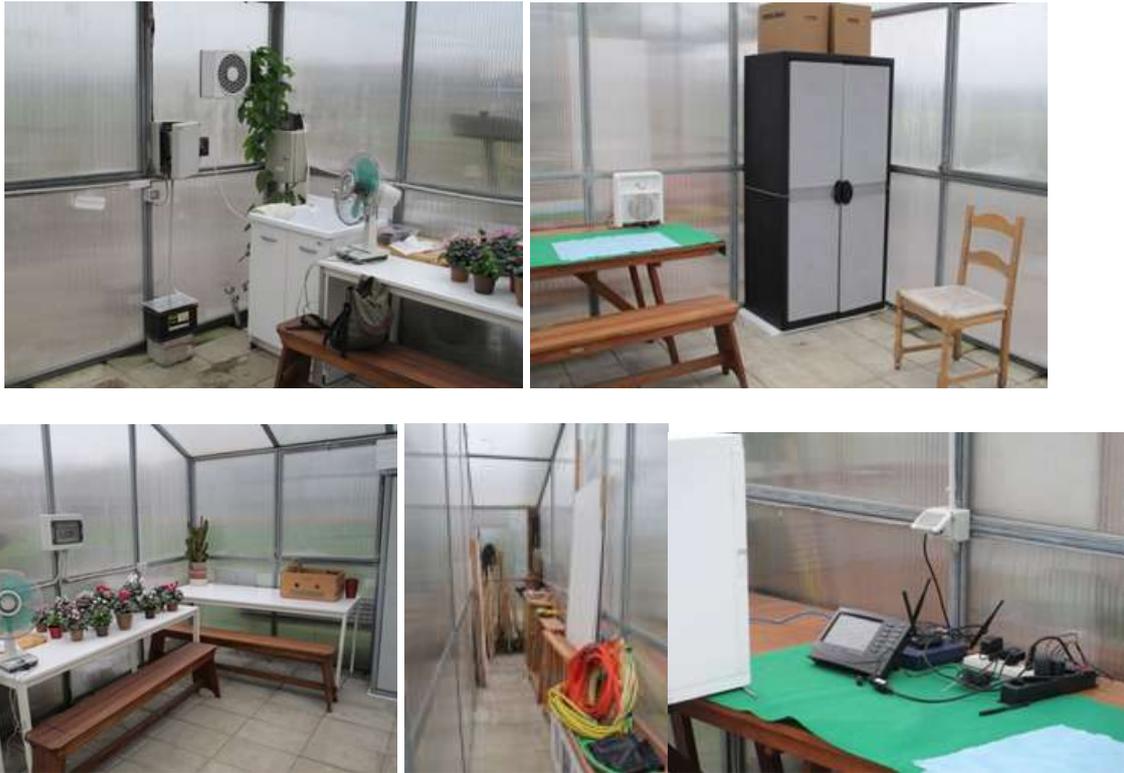


Fig 3.1c Interno ed esterno della serra con strumentazione meteo e vasi di fiori utilizzati per le esperienze con celle microbiche.

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 mossa 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, benchè 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

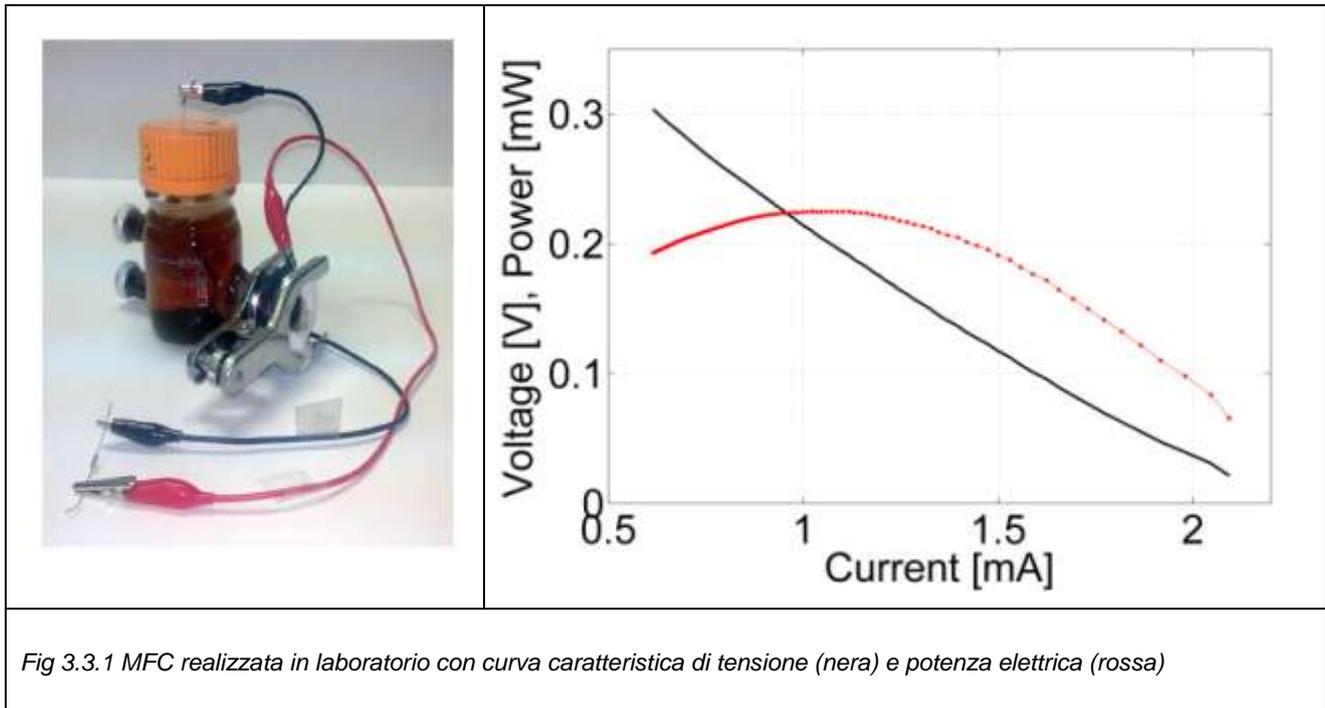
parametro Chemical Oxygen Demand (COD) ed è sfruttata ai fini del trattamento delle acque reflue in ambito civile. La densità di potenza elettrica erogabile da una MFC è decisamente bassa se paragonata ad altre fonti quali ad esempio il fotovoltaico. Ciò rende, ad oggi, tale tecnologia inadatta alla 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'istallazione 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.

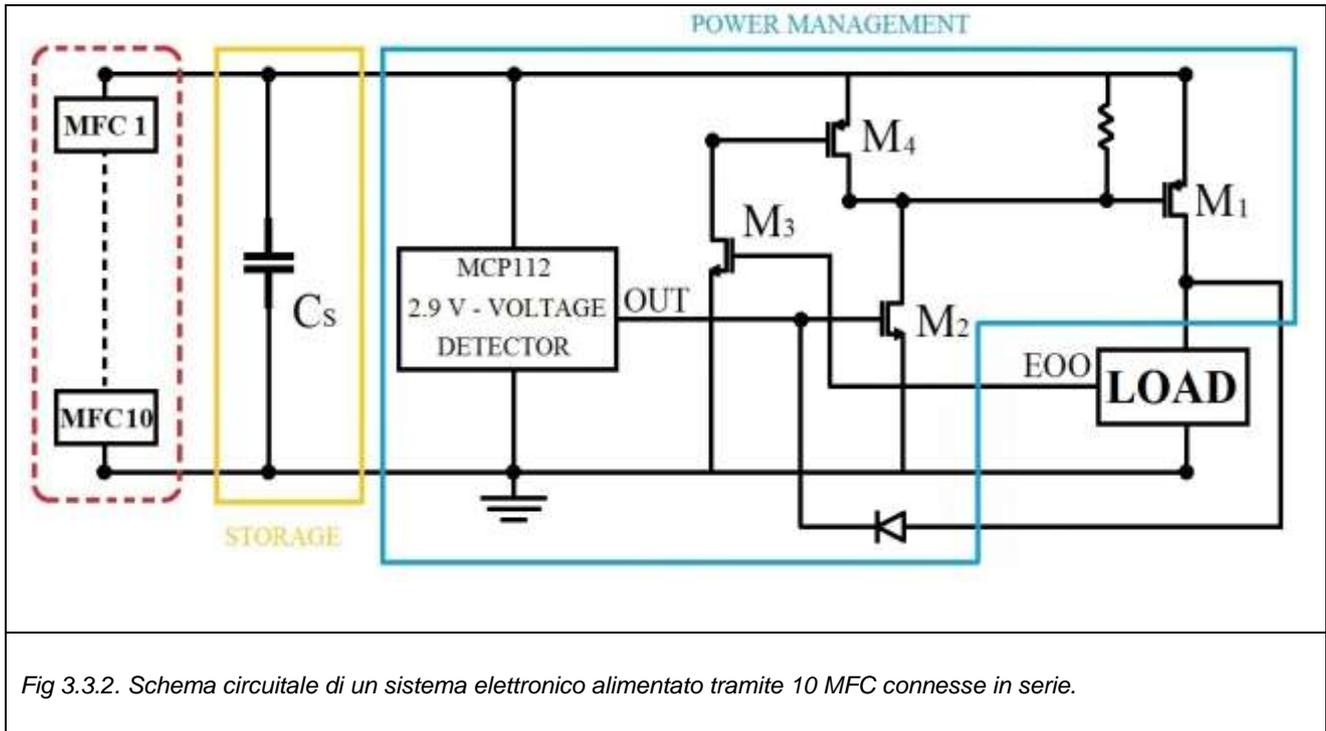


Fig 3.3.2. Schema circuitale di un sistema elettronico alimentato tramite 10 MFC connesse in serie.

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.

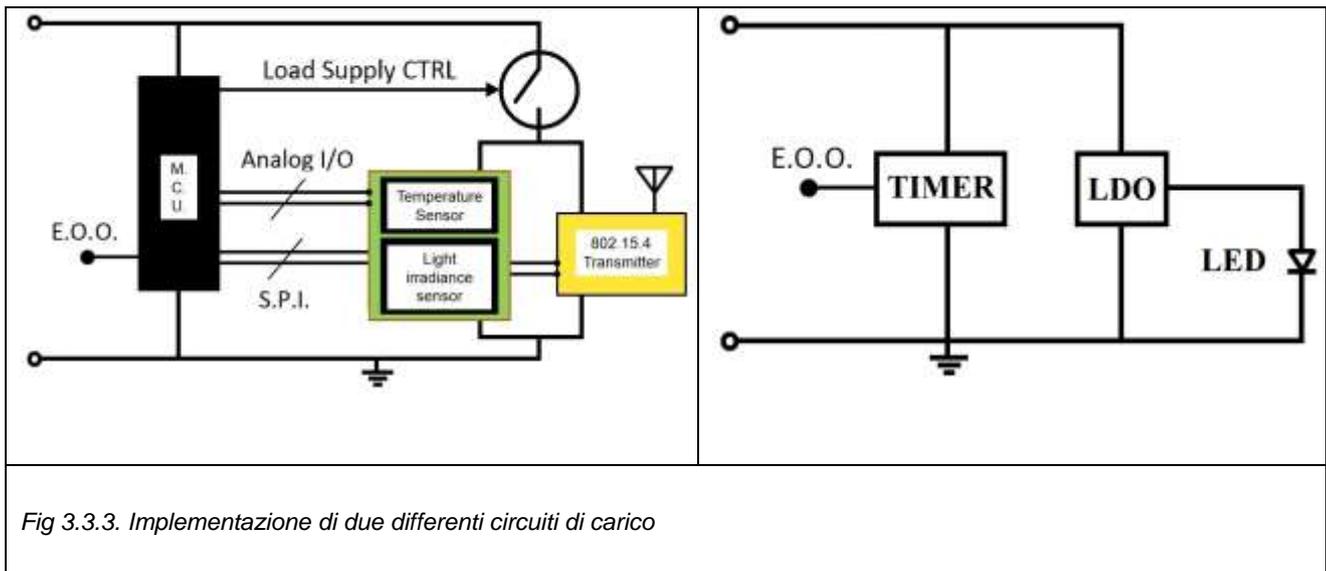


Fig 3.3.3. Implementazione di due differenti circuiti di carico

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.

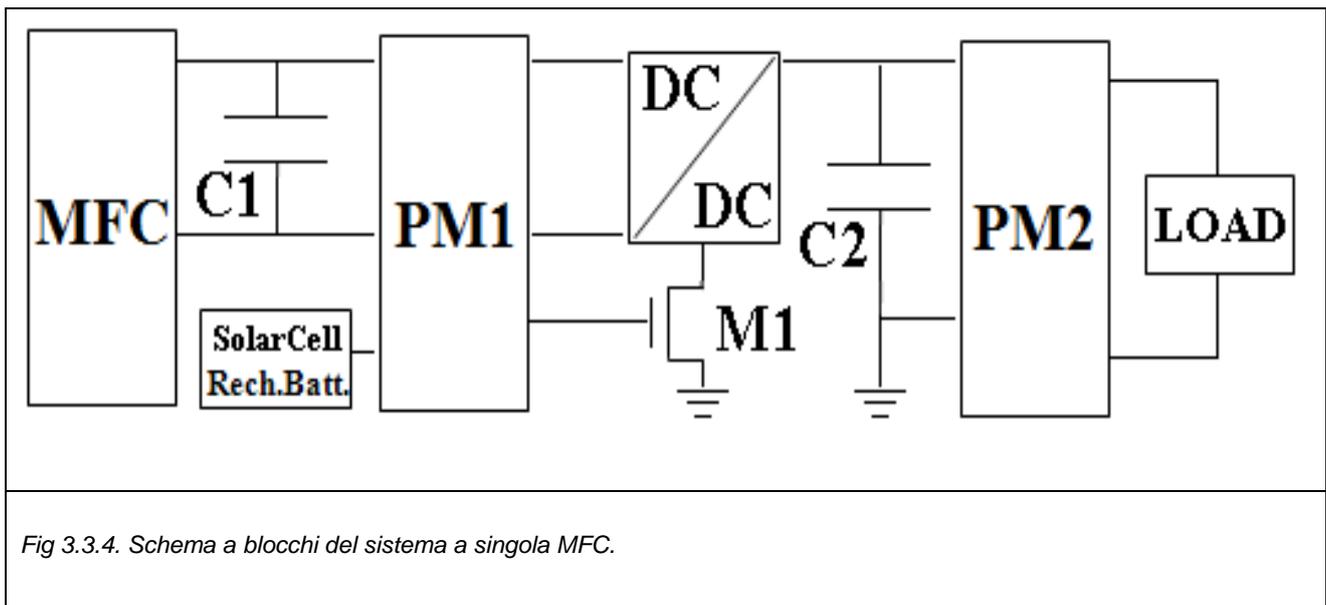


Fig 3.3.4. Schema a blocchi del sistema a singola MFC.

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.

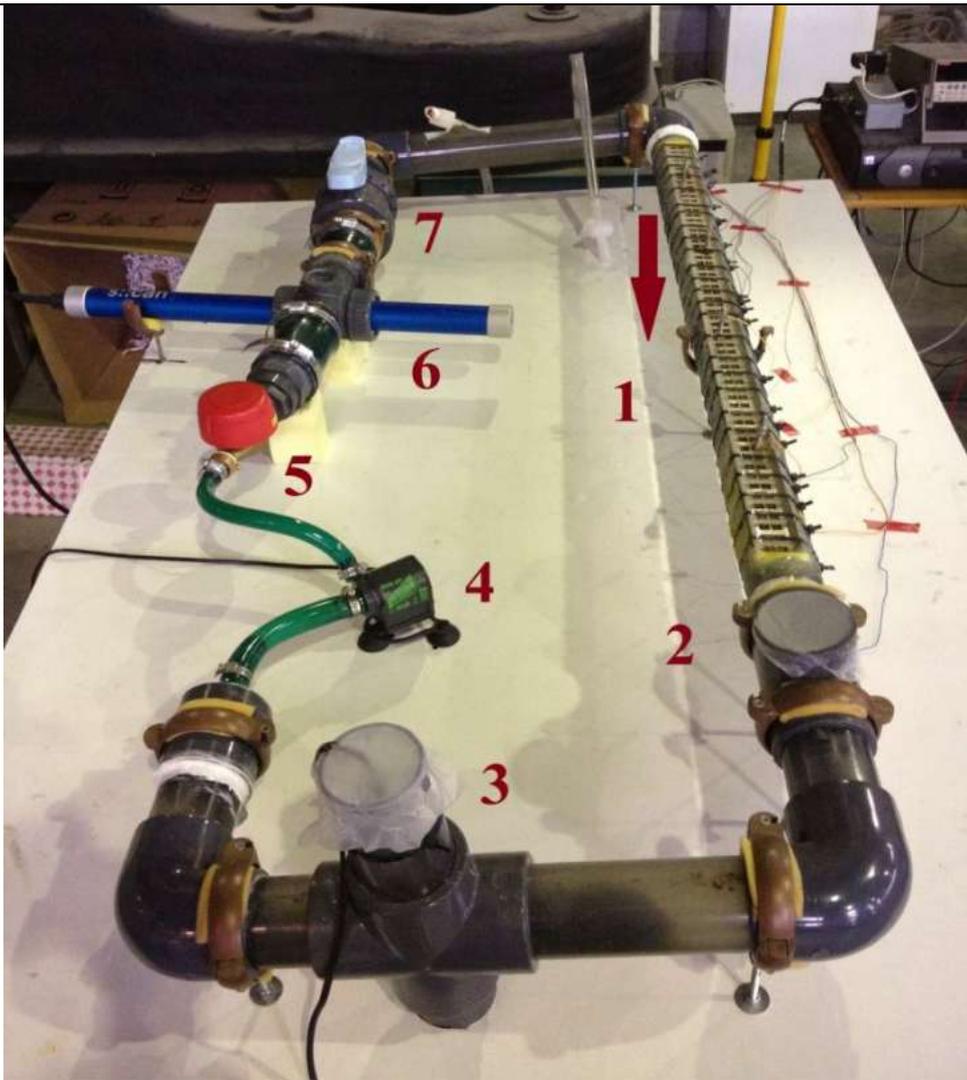


Fig 3.3.5. Fotografia della MFC sperimentale realizzata presso l'Università degli Studi di Pavia.

- 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 refluo mediante l'utilizzo della 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 refluo (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 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 3.4.1).

La prima parte del lavoro ha permesso l'implementazione del circuito di tre celle, termostate 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.

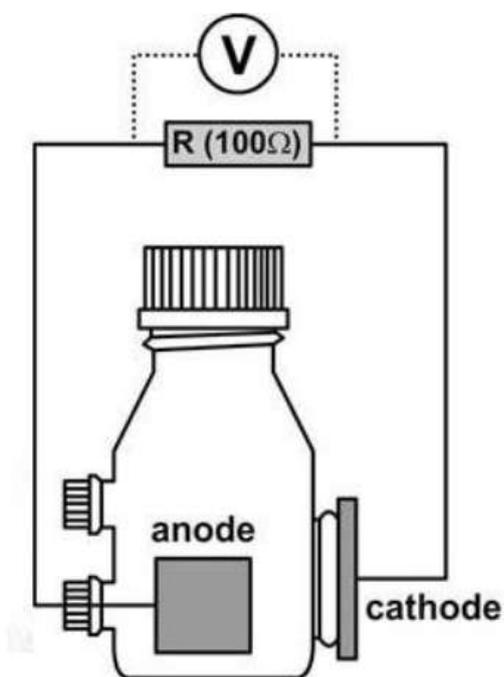


Fig 3.4.1. Schema e fotografia delle MFC impiegate

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)).

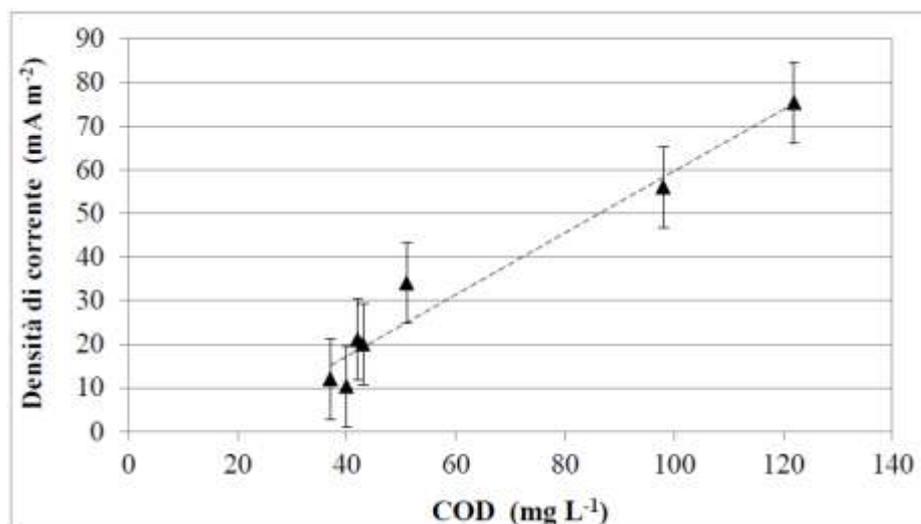


Figura 3.4.2. Relazione lineare tra densità di corrente e COD per valori minori di 120 mg/L.

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 elettrodici 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 mediante 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].

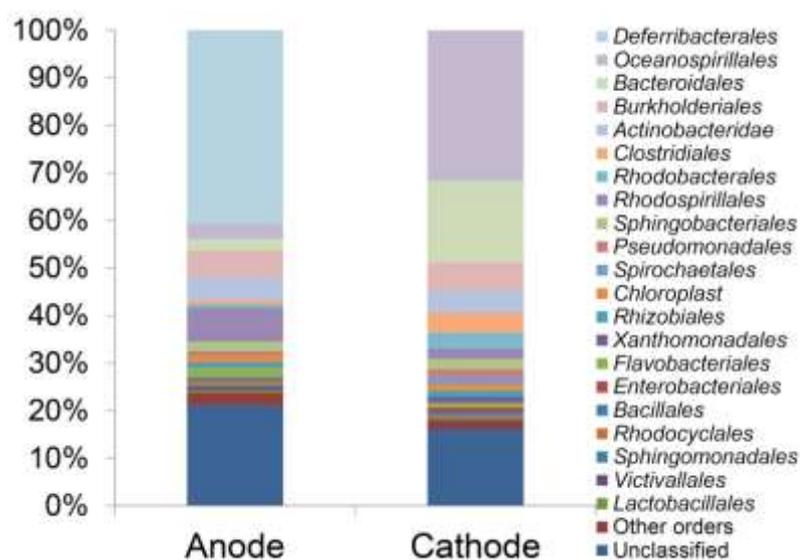


Figura 3.4.3. Classificazione a livello di Ordine delle principali popolazioni batteriche di anodo e catodo

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 sulfurei (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 *Nitriicola* (famiglia *Oceanospirillaceae*). Microrganismi appartenenti a questo genere erano precedentemente isolati da in ambienti alcalini. *Nitriicola 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 catodici 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 alcalifilici 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 *Nitriicola* 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).

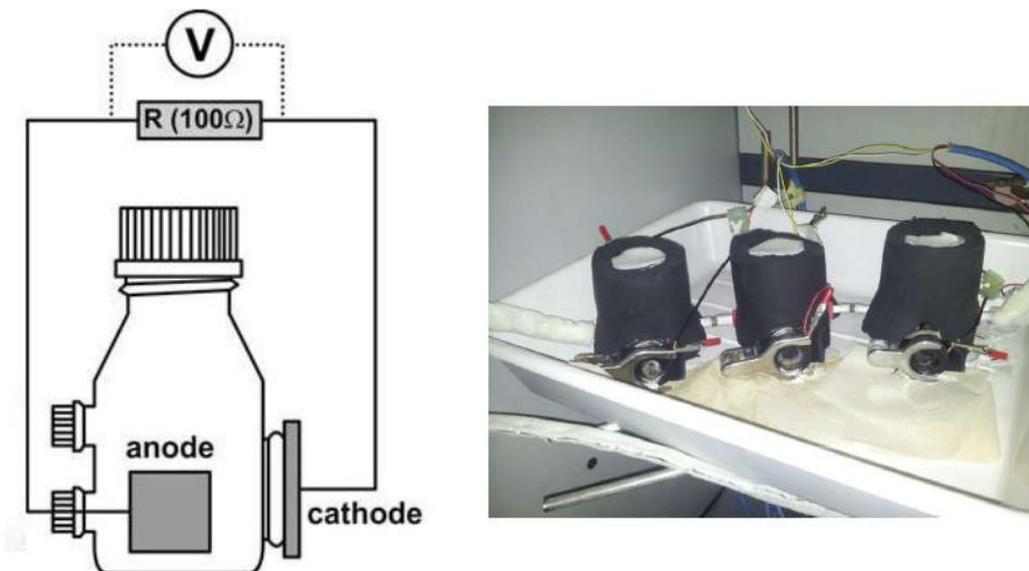


Figura 3.4.3.a. Schema e fotografia delle MFC impiegate

Relazione illustrativa – Versione finale
dicembre 2014

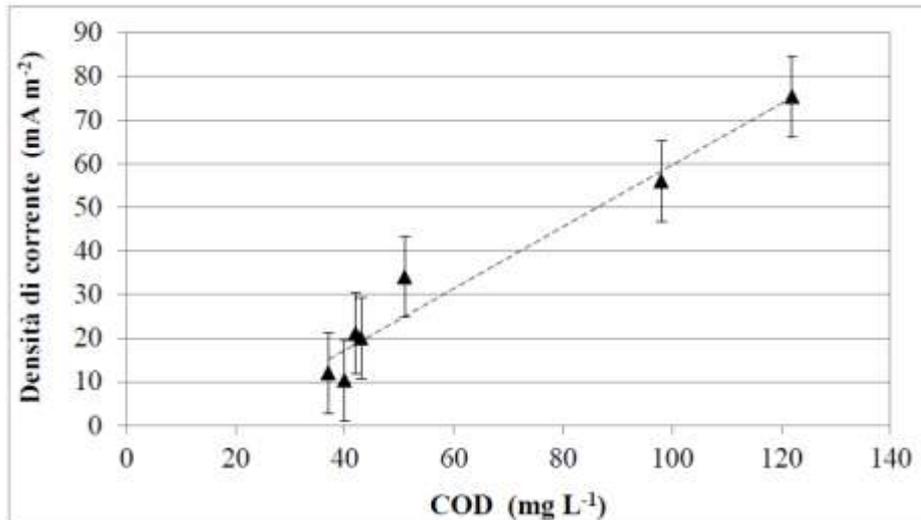


Figura 3.4.3.b. Relazione lineare tra densità di corrente e COD per valori minori di 120 mg/L.

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.

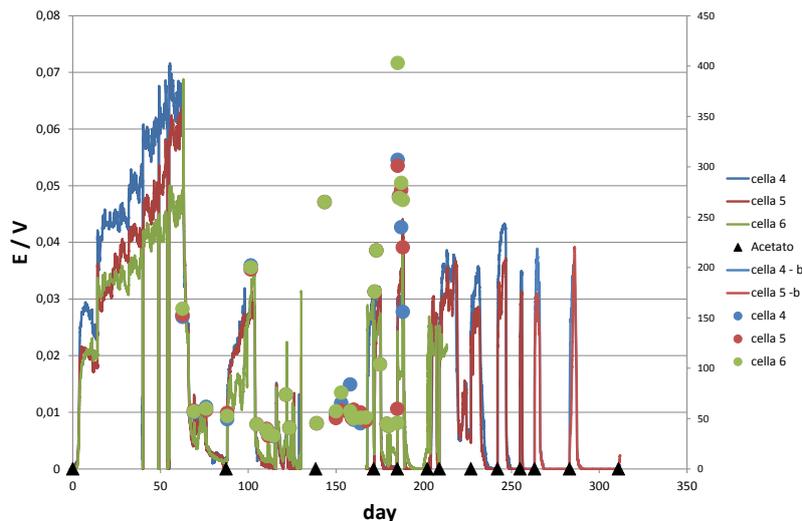


Figura 3.4.3.c. Andamento temporale del segnale elettrico nel corso della nuova sperimentazione

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.

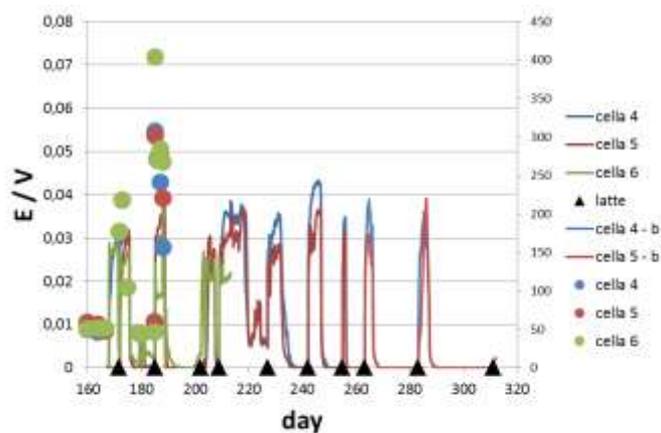


Figura 3.4.3.d. Dettaglio degli ultimi 100 giorni di sperimentazione

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					
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.

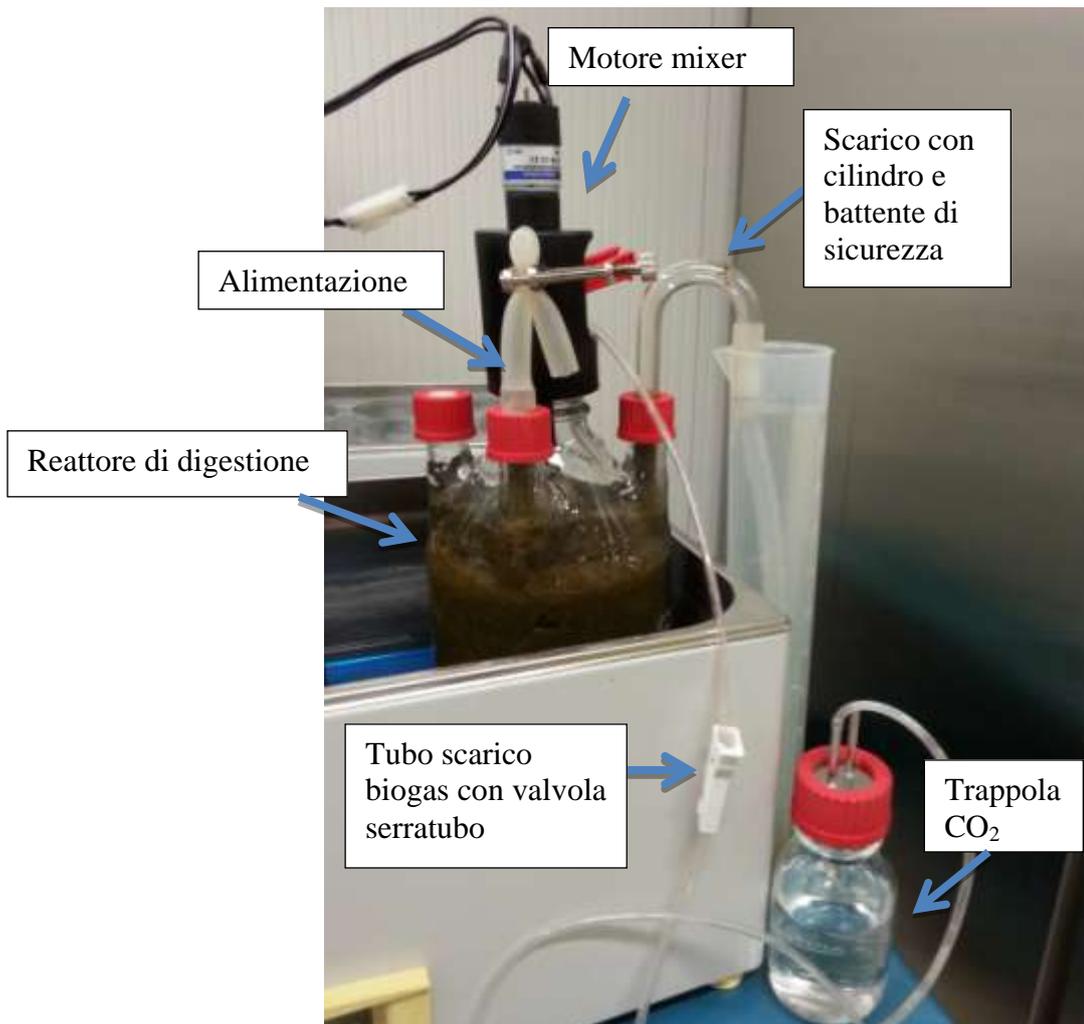
Ulteriori limiti di tale reattore risultano il volume utile di 1L e l'assenza di un sistema di miscelazione adeguato, che avviene solo con ancorotta magnetica (insufficiente in caso di substrati semisolidi).



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 miselazione e ghiera nera con motorino elettrico



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

-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.

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.

L'associazione Cise 2007, collegata ad RSE, ha a disposizione i formatori - tutti volontari, ex professionisti ora pensionati di RSE, fisici, chimici, ingegneri, che già hanno realizzato interventi con le scuole di routine - che si occuperanno degli interventi didattici con le scuole, con una proposta relativa alla introduzione e presentazione alle classi in visita di una stazione sperimentale in realizzazione presso l'area di Nocetum e a tre percorsi di approfondimento afferenti alle tecnologie energetiche rinnovabili, realizzate ad una scala prototipale e di laboratorio.

Durante la riunione si sono raccolte informazioni e materiali sui percorsi didattici nell'area, il portfolio dei formatori per capire provenienza, competenza e un piano esecutivo per ciascun percorso tematico per capire quali e quanti interventi sono prevedibili per classe e per ciascun ordine e grado, quali gli obiettivi, gli strumenti e le strategie educative utilizzate.

Inoltre si è proposto che il lavoro di ricerca delle scuole interessate e l'organizzazione delle visite potesse svolgersi attraverso l'attivazione di contatti di reti, attraverso la diffusione e comunicazione di sistema del progetto presso le Istituzioni territoriali, quanto meno per ciò che attiene alle attività didattiche, per avviare delle azioni di rappresentanza e di valorizzazione degli aspetti innovativi di progetto.

In particolare si è pensato al contesto territoriale dei Consigli di Zona di Milano, alla rete scolastica cittadina, all'Ufficio scolastico regionale, alla rete di scuole che già lavorano sul territorio con le Associazioni e Cooperative all'interno del Parco della Vettabbia.

Per quanto riguarda il coinvolgimento degli studenti universitari, la stazione sperimentale potrebbe essere sede di visita e di stage per master e corso di perfezionamento di ASA.

Il 12 febbraio 2013, la dott.ssa Fontana ha partecipato con la dott.ssa Cristiani di RSE e il dott. Pampurini di GREEM-Cise 2007 ad una riunione presso l'Istituto Tecnico Superiore Molinari di Milano, con i docenti interessati alla creazione di sinergie tra i programmi scolastici e il Progetto Insieme. Durante l'incontro sono emerse le possibilità di svolgere con le classi 3°e 4° dell'istituto delle visite alla stazione sperimentale di prossima realizzazione presso la Valle dei Monaci e di avviare uno o due studenti del IV anno a svolgere lo stage presso RSE. Erano presenti alla riunione alcuni rappresentanti di CISE 2007, che seguono lo studio di alcune tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili e che sarebbero disponibili a realizzare dei prototipi con gli studenti.

ASA, attraverso la dott.ssa Fontana, ha avanzato alcune proposte di coinvolgimento della città e delle scuole, in particolare con l'idea di utilizzare alcune manifestazioni in atto nella città di Milano e in altre città lombarde per promuovere il progetto. Uno degli appuntamenti è la manifestazione Cascine Aperte, in cui avrebbe potuto essere interessante partecipare con poster appositamente creati e materiale documentale cartaceo per promuovere l'iniziativa presso le cascine di Milano aperte alla cittadinanza. Una seconda proposta presentata è stata quella di promuovere il progetto con una presentazione ad hoc nell'ambito della manifestazione Green Week dell'Università Bicocca. Un'altra idea è quello di presentare il progetto con alcuni laboratori ad hoc nell'ambito di "EXPO scuola ambiente", la manifestazione che ogni anno la Regione Lombardia DG Ambiente e Reti organizza per promuovere iniziative di educazione ambientale.

Sono inoltre stati presi contatti e preparata una comunicazione, inserendo il link al sito di progetto, per le Commissioni Scuola dei Consigli di Zona di Milano.

Inoltre, nell'ambito di un incontro ASA con il CREDA, centro di educazione ambientale sito nel Parco di Monza, per discutere di un progetto europeo di ricerca sull'Outdoor Learning è stata proposta una sinergia ASA-CREDA per la promozione del progetto "Insieme", anche attraverso i loro canali di promozione nelle scuole e le sinergie con i loro programmi.

Sono stati poi presi da ASA contatti con l'Ufficio Scolastico Regionale. A questo contatto è seguito un appuntamento, il 22 aprile 2013, con la referente dell'ufficio scolastico territoriale di Milano, in via Soderini 24, per trovare tutti i canali di massima promozione del progetto presso le scuole. I presenti alla riunione presso la sede dell'Ufficio Scolastico di Milano: Prof.ssa Torretta - UST Milano, Sig. Giovanni Pampurini - Greem, Dott.ssa Stefania Fontana e Dott.ssa Luisa Bodini – ASA.

La finalità era quella di presentare il Progetto 'Insieme' – Esperienze di tecnologie energetiche Antiche e Future al servizio della Sostenibilità" e di valutare possibili modalità di collaborazione nella diffusione educativa di tale iniziativa presso gli istituti scolastici superiori milanesi.

Dopo una preliminare chiarificazione relativa alla natura del Progetto (contesto e rilevanza territoriale, obiettivi, strategie operative,...), agli scopi prospettati ed alle realtà coinvolte (associazioni, centri di ricerca, Università, ...), l'attenzione è stata rivolta all'impostazione operativa dell'attività di contatto, diffusione e promozione dell'iniziativa educativa presso le scuole, al fine di ottenerne l'adesione ai percorsi didattici di progetto.

Durante la riunione, che ha avuto modo di rivelarsi più che una semplice presentazione, una proficua e feconda occasione di trovare preziosi suggerimenti su come meglio rendere evidente l'intento altamente valoriale e di condivisione progettuale dell'iniziativa, sono emersi alcuni elementi utili per il progetto. Innanzitutto, proprio poiché si tratta di istituti scolastici, è necessario decidere se situare le visite (e la comunicazione capillare dell'evento) in estate, come una sorta di summer school, o se invece avviarle direttamente con l'anno scolastico nel mese di Settembre.

La comunicazione – ha fatto emergere la Prof.ssa Torretta – dovrà essere accattivante (a fronte dei numerosi progetti che costantemente vengono proposti alle scuole), per cui le scuole non si percepiscano esclusivamente come un soggetto finale ma direttamente coinvolto.

Infatti, punto chiave su cui la riunione si è profusamente concentrata è proprio il malcontento emerso più volte dagli istituti scolastici relativamente a progetti educativi nei quali non si sono sentiti parte attiva ma solo utenti finali, mancando così di coinvolgimento. Al contrario, risulterebbe più efficace la possibilità di una collaborazione, di un tavolo di lavoro in cui Università, Enti e Scuole stesse creino un gruppo di co-progettazione dandosi degli obiettivi da trasferire durante l'attività curriculare in aula agli studenti e poi concretizzare grazie alla parte attiva di visita.

Un dato di interesse emerso dall'incontro è la prospettiva di potere organizzare un tavolo di progetto con funzionari dell'UST, docenti in distacco per svolgere funzioni ministeriali di raccordo e personale didattico delle istituzioni scolastiche interessate, al fine di individuare le modalità di gestione didattica degli interventi presso la stazione sperimentale, di modo che questi possano rappresentare essere l'occasione per riflettere ed integrare, in maniera sempre più puntuale e adeguata alle esigenze del mondo della scuola, le proposte extra curricolari.

Tale modalità sarebbe poi alla base di una mappatura delle competenze utile agli insegnanti per meglio identificare strumenti precisi e comuni di monitoraggio, di supporto allo svolgimento della professione.

Per questi motivi, la comunicazione andrà modulata in base allo scopo, ovvero si odvrà deciderese sarà limitata ad una ricerca di 20 classi alle quali offrire una visita gratuita presso il Parco della Vettabbia oppure se l'idea sia quella di ipotizzare un tavolo di lavoro fra insegnanti e stakeholders coinvolti.

Tale comunicazione andrà prima indirizzata al Dirigente del settore Educazione che provvederà poi a coinvolgere gli Enti interessati.

E' stata inviata inoltre una comunicazione all'Assessore per l'Istruzione scolastica dott. Francesco Cappelli del Comune di Milano, finalizzata alla presentazione del progetto e all'intenzione di coinvolgere i consigli zonali, nelle persone dei responsabili delle commissioni istruzione, che hanno consueto rapporto con le scuole del territorio, al fine di promuovere, a partire dal mese di settembre 2013, le scuole nel percorso didattico del progetto Insieme, anche con una progettualità territoriale che punti ad una sinergia con le programmazioni degli stessi consigli di zona in materia di educazione della cittadinanza alla sostenibilità ambientale ed energetica.

4.1 Stipula di accordi con istituti scolastici

Nel secondo trimestre del 2013, dopo una prima fase consultiva di progetto con i Partner, è iniziata la fase organizzativa della didattica con le scuole e con cittadini del territorio che prenderà di seguito avvio dal settembre 2013 con l'ultimazione della realizzazione della stazione sperimentale presso la sede dell'Associazione Nocetum, Cascina San Giacomo, a sud di Milano.

La fase organizzativa è stata avviata dalla rappresentante dell'Alta Scuola per l'Ambiente, Stefania Fontana, in collaborazione con Associazioni CISE 2007 e GREEM, il sig. Gianni Pampurini e colleghi.

Le azioni avviate da marzo a giugno 2013 hanno risposto all'esigenza di contattare e coinvolgere le istituzioni scolastiche del territorio per i programmi didattici.

A tal fine sono stati avviati contatti con UST (Ufficio Scolastico Territoriale) di Milano, nella persona del referente dei progetti ambientali, Prof. ssa Enrica Torretta, per la diffusione presso le scuole milanesi.

Su indicazione della prof. ssa Torretta, per verificare la disponibilità dell'UST a collaborare nell'avvio del tavolo di progetto e a promuovere i percorsi didattici tra le scuole durante il prossimo anno scolastico, è stata inviata una comunicazione al dirigente dott. Giuseppe Petralia, con una presentazione del progetto, comunicazione della quale tuttavia, malgrado le sollecitazioni, non si è ottenuta risposta. (mail in data 16 maggio e 26 giugno).

E' stata inviata una comunicazione al Centro di Educazione Ambientale CREDA ai fini di una potenziale interessante collaborazione in sinergia con le sue proposte didattiche. La richiesta è di potere immaginare una forma di diffusione congiunta dell'iniziativa didattica del progetto Insieme al loro indirizzario scolastico, prevedendo per le classi eccedenti alla soglia di gratuità che era stata prevista (20 classi) una possibile collaborazione con CREDA, ad esempio immaginando un

incontro in classe introduttivo svolto da loro associato ad una visita alla Stazione Sperimentale di Nocetum realizzata dai partner del progetto Insieme, oppure un pacchetto didattico avente come tema l'energia con due incontri in classe (di cui uno realizzato dai tecnici che hanno realizzato i prototipi) e una visita sul campo.

La stessa comunicazione è stata inviata all'Associazione Nocetum, che ospita l'iniziativa, per una sinergia con i loro programmi didattici durante gli incontri di programmazione delle attività. Infine, si è provveduto dal mese di marzo 2013, con diverse iniziative di contatto diretto ed epistolare, a contattare le scuole milanesi per promuovere le attività di progetto.

Sono stati contattati gli Istituti Superiori "Besta" e "Molinari" di Milano, che hanno aderito al progetto con due classi ciascuno e con la prospettiva di ampliare la sinergia e il coinvolgimento durante il prossimo anno scolastico durante gli incontri con gli Istituti Scolastici a cui hanno partecipato i rappresentanti dell'Associazione Cise 2007 con la dott.sa Fontana.

E' stata inviata una comunicazione specifica di presentazione del progetto Insieme con la contestuale apertura delle iscrizioni alle visite guidate e percorsi didattici presso la Stazione sperimentale per il prossimo anno scolastico, a tutte le scuole di ogni ordine e grado della Provincia di Milano. Si è utilizzato a tale proposito un indirizzario reso disponibile dall'Ufficio Scolastico Territoriale di Milano, aggiornato allo scorso anno scolastico. La presentazione, completa di link al sito di progetto <http://www.cise2007.eu/Progetto%20INSIEME/Index.html>, è stata inviata a 450 indirizzi scolastici, dei quali 61 indirizzi risultati non attivi o con problemi di consegna, per i quali si è ripetuto l'invio (mail in data 26 giugno 2013).

Allo stesso complesso di indirizzi, su suggerimento dell'Ufficio Scolastico Provinciale, la spedizione è stata ripetuta nella parte iniziale dell'anno scolastico per intercettare l'interesse delle scuole ad attivare percorsi didattici.(mail in data 16 ottobre 2013)

Ai fini di una migliore comunicazione con le scuole e le istituzioni territoriali competenti, si è suggerito al partner di progetto, che si è occupato della redazione del sito, Ass. GREEM, di inserire nella presentazione della fase didattica alcune varianti, che riguardano nello specifico la localizzazione delle visite alla Stazione Sperimentale e i riferimenti della referente di ASA per il progetto per contatti, informazioni e prenotazioni. Il sito è stato pertanto posto in fase di revisione e modifica.

E' stata raggiunta, attraverso le attività di contatto avviate a tutte le scuole della provincia di Milano, la soglia delle 20 classi interessate a svolgere la visita didattica. Si tratta del raggiungimento del target di ASA nell'ambito del progetto Insieme: 20 classi che possano svolgere una visita presso la stazione sperimentale. Si riportano nella tabella sottostante i riferimenti delle classi aderenti al progetto. Inoltre l'ulteriore impegno di ASA nel progetto riguarda il contatto da parte di Stefania Fontana, all'inizio dell'anno scolastico 2013-2014, delle classi che hanno manifestato l'interesse, ai fini della predisposizione del calendario degli interventi. Tale calendario è stato fornito all'Associazione CISE 2007 che realizzerà le visite didattiche con i propri operatori.

Data	Scuola	Insegnante di riferimento	Recapito	Classi	Tematica
11/19/13	Liceo Scientifico Majorana (Rho)	Prof. Marisa Ghioni	ghimar@libero.it	II H	Celle Microbiche
				II G	Arduino
11/20/13	Scuola Primaria Battisti (Milano)	Viviana Sannino	33383506784	V A - VB	Energie Rinnovabili
12/3/13	Liceo Scientifico Majorana (Rho)	Prof. Marisa Ghioni	ghimar@libero.it	II F	Energie Rinnovabili
				II C	Celle Microbiche
12/10/13	Liceo Scientifico Allende (Milano)	Prof. Adriana Sagristano	adriana.sagristano@allende-custodi.it	II A - II E	Celle Microbiche
12/12/13	Scuola Media - Ist. Copernico (Corsico)	Prof. Teresa Piergrossi	t.piergrossi@libero.it	II A - II B	Energie Rinnovabili
1/02/14	Liceo Scienze Umane Besta (Milano)	Prof. Barbara Pozzi	barbara_bpozzi@yahoo.it	III F - III H	Arduino
29/01/2014 (pomeriggio)	Scuola Media Tiepolo (Milano)	Prof. Barbara Foti	barbarafoti@gmail.com	III I	Energie Rinnovabili

Relazione illustrativa – Versione finale
dicembre 2014

14/02/14				II	Celle microbiche
20/02/14		Prof. Patrizia Casero	Patrcas@tiscali.it	III F	Celle Microbiche
4/2/14	Istituto Tecnico Molinari Informatici (Milano)	Prof. Cesare Brivio	cbrivio@libero.it	2 classi V ?	Celle Microbiche
4/4/14				IV A - IV B	Arduino
4/9/14	Scuola Media - De Andreis (Milano)	Prof. Antonio Ariano	antoaria@tin.it	III E	Arduino

Venerdì 5 luglio 2013, si è tenuta una riunione presso l'Associazione Nocetum con i partner del progetto Insieme coinvolti nell'Azione relativa alla didattica e al coinvolgimento delle scuole. In tale azione ASA è direttamente coinvolta come soggetto di coordinamento. I partner invitati alla riunione: Associazioni Cise 2007, GREEM, Ass. Nocetum. I presenti: Pierangela Cristiani per Ass. Cise 2007, Gianni Pampurini per GREEM, Maddalena Tommasone per Ass. Nocetum, oltre a Luisa Bodini e Stefania Fonatana per ASA. Durante la riunione si è raggiunta un'organizzazione molto chiara delle attività didattiche del progetto, i ruoli dei diversi soggetti coinvolti, le fasi e le tempistiche degli impegni futuri.

Si è proposta in particolare una forte integrazione del programma del progetto 'Insieme' con quello delle Associazioni Nocetum per organizzare visite di un'intera giornata a pagamento presso la Stazione Sperimentale (le attività sulle energie alternative presso la stazione sperimentale durano solo 3 ore e sono mattutine, potrebbero essere integrate con attività pomeridiane di laboratorio dell'Associazione Nocetum). La stessa cosa può valere per altre associazioni del territorio che svolgono attività didattiche nella valle dei monaci. Sono state discusse con le associazioni le soluzioni di integrazione delle loro attività per una presentazione congiunta, proponendo loro di sfruttare, ai fini della comunicazione, la spedizione a inizio anno scolastico per tutte le scuole milanesi. La segreteria di prenotazione verrà poi gestita dalle associazioni che svolgeranno le visite.

Inoltre, l'intervento di ASA, nell'ambito del progetto Insieme, si è sostanziato nell'integrazione del piano delle proposte didattiche, già predisposto per le visite alla stazione sperimentale

dalle associazioni GREEM + CISE 2007, con una declinazione delle attività in base alle specificità dei diversi ordini e gradi scolastici.

E' stato attivato, dal mese di Marzo 2013, lo stage di una studentessa della V edizione del Master ASA "Sviluppo Umano e ambiente" nell'ambito delle attività previste dal progetto Insieme. La dott.ssa Luisa Bodini, neolaureata al Corso di Laurea Specialistica in Progettazione Pedagogica dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Brescia, è stata impegnata, durante lo stage, nella rilettura del progetto pedagogico predisponendo delle indicazioni utili a orientare il lavoro delle associazioni coinvolte nelle azioni didattiche, come presentato in allegato.

Nell'ambito delle visite condotte da novembre 2013 ad aprile 2013 presso Nocetum, Stefania Fontana e Luisa Bodini hanno partecipato ad alcune visite per potere valutare come tarare meglio i percorsi a seconda delle esigenze dei diversi livelli scolastici.

Inoltre, ASA, attraverso Stefania Fontana, ha richiesto alle classi partecipanti, di potere documentare l'effettiva realizzazione della visita presso la Stazione Sperimentale di Nocetum, con una lettera firmata dal Dirigente.

Si sono avviati contatti tra ASA, Stefania Fontana, e CISE 2007 per l'agenda di programmazione e spedizione del nuovo volantino alle scuole di ogni ordine e grado della Provincia di Milano per potere avviare anche visite a pagamento alla stazione sperimentale, che ha portato alla risposta interessata da parte di tre istituti scolastici.

4.2 Attività di laboratorio e visite guidate con le scuole dei cicli primari e secondari

Gli studenti, soprattutto quelli dei cicli primari, hanno dimostrato un notevole apprezzamento relativo alla collocazione dei corsi offerti in un'area rurale in cui, oltre ai laboratori sperimentali di carattere scientifico hanno potuto osservare gli animali della fattoria, l'orto, le api, gli alberi da frutto ed i prodotti ad essi direttamente correlati.

4.2.1 Attività di laboratorio

Nell'ambito della Fase 4 del Progetto 'Insieme', sono stati programmati e organizzati da ASA-Alta Scuola per l'Ambiente, in collaborazione con CISE 2007, Greem e Nocetum gli interventi didattici previsti, indirizzati agli studenti delle scuole elementari e medie sui temi della sostenibilità, e tenuti presso l'Area Sperimentale e Didattica "Informare, Comunicare, Formare" sita nella cascina San Giacomo, sede dell'associazione Nocetum.

Le attività didattiche svolte con le scuole, sia dei cicli primari sia dei cicli secondari, sono state caratterizzate da uno schema fisso, comprendente:

- una lezione introduttiva sulle tematiche trattate (di circa 1 ora, tenuta da esperti di RSE, e volontari CISE2007),
- una visita guidata all'area sperimentale e alla serra (di circa 0.5 ore, con un accompagnatore volontario di CISE2007)
- un'attività pratica con l'esecuzione di esperienze a piccoli gruppi (di circa 2 ore, tenute da docenti e da studenti/dottorandi universitari)

Per ogni lezione è stata necessaria la copresenza di almeno 5 docenti/accompagnatori.

Le esperienze pratiche sono state scelte dal corpo insegnante delle scuole, e sono state suddivise sui temi principali:

- energia e vita (per gli studenti di elementare e medie)
- energie rinnovabili e celle a combustibile microbiche (più biologico, indirizzato alle medie superiori)
- risparmio energetico ed elettronica amatoriale (più tecnologico, indirizzato alle medie superiori).

ASA ha organizzato i corsi e CISE 2007 ha curato gli aspetti didattici e logistici di un primo lotto di corsi (dieci classi delle venti previste), tramite docenti specializzati e accompagnatori, mettendo a disposizione il materiale didattico (poster illustrativi, microscopi, celle a combustibile microbiche, sistemi Arduino, dimostrativi di sistemi energetici ecc.), di seguito elencati:

Data	Scuola	Classi	Tematica
19/11/2013	Liceo Scientifico Majorana (Rho)	II H	Celle Microbiche
		II G	Arduino
20/11/2013	Scuola Primaria Battisti (Milano)	V A - VB	Energie Rinnovabili
03/12/2013	Liceo Scientifico Majorana (Rho)	II F	Energie Rinnovabili
		II C	Celle Microbiche
10/12/2013	Liceo Scientifico Allende (Milano)	II A - II E	Celle Microbiche
12/12/2013	Scuola Media - Ist. Copernico (Corsico)	II A - II B	Energie Rinnovabili

29/01/2014	Scuola Media III I Tiepolo (Milano)	Energie Rinnovabili
14/02/2014	Scuola Media I I Tiepolo (Milano)	Celle microbiche
24/02/2014	Scuola Media III F Tiepolo (Milano)	Celle Microbiche

Ogni corso è stato tenuto nell'arco di un'intera mattinata, con una parte teorica, introduttiva della tematica trattata ed una parte di laboratorio sperimentale, nel corso della quale, sotto la guida degli esperti, gli studenti si sono cimentati in esperienze con strutture dimostrative del risparmio energetico, di celle a combustibile microbiche, di sistemi con Arduino. Gli stessi studenti, divisi in piccoli gruppi hanno integrato l'esperienza didattica con l'osservazione al microscopio di microrganismi e tessuti cellulari, la visita alla stazione metereologica e alla serra-laboratorio, l'osservazione di piccole macchine di produzione di fenomeni elettrici e altri dimostrativi relativi al risparmio energetico e hanno potuto verificare il sistema di acquisizione dati della stazione metereologica attraverso la rete internet.

Si allegano allo scopo alcune foto illustrative delle attività didattiche con le varie scuole.



Esperienza con il rocchetto di Ruhmkorff per la spiegazione dei fenomeni elettrici.

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



Esperienze di misura di corrente, temperatura, assorbimento elettrico e luminosità di lampadine di diversa tipologia.



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



Esperienze e osservazioni con i microscopi ottici



Esperienze con celle a combustibile microbiche



Altre foto delle lezioni con suole medie



Altre foto delle lezioni

4.2.2 Visite guidate

L'associazione Nocetum è un Punto Parco, per definizione i Punti Parco sono luoghi di informazione e di promozione delle iniziative ed attività del Parco.

La loro finalità principale è quella di avvicinare il Parco alle persone costituendo un nuovo e diretto canale di comunicazione e di partecipazione grazie alla loro notevole diffusione territoriale.

I luoghi in cui sorgono, alcuni come Nocetum alle porte di Milano e altri sparsi nella campagna, sono strategici e facili da raggiungere, in strutture esistenti e già utilizzate per attività in armonia con le finalità del Parco.

Con la rete dei Punti Parco il Parco Agricolo Sud Milano offre alle persone diversi servizi:

- sportello informativo con distribuzione di materiale
- manifestazioni
- noleggio biciclette
- vendita diretta dei prodotti delle aziende agricole presenti sul territorio del Parco
- educazione ambientale e alla sostenibilità.

Il sistema agro-ambientale del Parco Agricolo Sud Milano, si contraddistingue da gran parte delle aree protette esistenti in Regione Lombardia per differenti caratteristiche morfologiche, naturalistiche, produttive, nonché faunistiche.

Qui educare all'ambiente, alla ruralità e alla sostenibilità è un processo di insegnamento-apprendimento in grado di facilitare l'incontro con il proprio territorio. Non da ultimo, grazie alla forte sinergia tra enti istituzionali ed associazioni varie, si contribuisce a rendere le nuove generazioni consapevoli e in grado di orientarsi sotto il profilo culturale e professionale. L'auspicio è che tutti riconoscano nell'educazione ambientale un'opportunità per approfondire in modo interdisciplinare le innumerevoli risorse del Parco e del mondo rurale attraverso un processo formativo e di comunicazione in grado di facilitare l'incontro e la conoscenza dell'ambiente in generale.

Gli obiettivi dell'educazione ambientale e alla sostenibilità nel Parco, al cui interno si collocano i percorsi didattico-educativi progettati da Nocetum, sono perseguiti attraverso le seguenti macroaree tematiche:

- “Clima ed energia”: il territorio del Parco Agricolo Sud Milano offre spunti sulla modernizzazione, il fabbisogno di energia, l'impatto ambientale, dove ogni incontro diventa riflessione sul futuro, sui cambiamenti climatici, sullo sviluppo sostenibile. Grazie a questo territorio unico, oggi si può ottenere energia pulita e rinnovabile sfruttando la rete idrografica ed irrigua oppure con “coltivazioni energetiche”. I percorsi per le scuole propongono visite guidate, simulazioni e giochi di ruolo, sperimentazioni e modellistica.
- “Paesaggio e territorio”: alle porte di Milano il territorio è ancora caratterizzato da ampie distese agricole che insieme a luoghi di interesse naturalistico e luoghi storici determinano il paesaggio del Parco. Colture tradizionali, boschi, zone umide, fontanili, straordinarie opere di ingegneria idraulica, splendide abbazie caratterizzano il paesaggio del Parco rendendolo di svago e di educazione. A piedi o in bicicletta, le scuole di ogni ordine e grado percorsi guidati per esplorare il territorio.
- “Storia e architettura”: dai Romani, che per primi hanno disegnato le campagne e numerosi assi stradali ancora oggi utilizzati, agli ordini monastici, che hanno realizzato le splendide Abbazie di Chiaravalle, Mirasole e Viboldone, circondate da terreni resi fertili grazie al loro operato: tutto ciò, unito alle magnifiche cascate che punteggiano ogni angolo del Parco, merita di essere conosciuto e amato, perchè è attraverso la conoscenza della storia locale che si può suscitare l'interesse alla conservazione del patrimonio culturale.
- “Alimentazione e agricoltura”: riso, latte, formaggio, ortaggi, farine, frutta, miele, quando si pensa alla Pianura Padana la si associa sempre all'aggettivo fertile. Accompagnare i

bambini e i ragazzi a percorrere le strade e i sentieri del Parco significa scoprire con loro le tradizioni locali, imparare a conoscere gli animali da allevamento e da cortile, vedere le diverse coltivazioni e conoscere il tempo della semina e della raccolta, riscoprire la gioia del preparare insieme pane e merende utilizzando prodotti freschi. Impastare, tritare, mescolare gli ingredienti, cuocere e degustare è un'esperienza unica e davvero divertente.

Nocetum ha dedicato molte risorse per l'educazione ambientale e la conoscenza del territorio della Valle dei Monaci, in particolare proponendo percorsi rivolti a studenti delle scuole di ogni ordine e grado, basati sull'importanza di formare le nuove generazioni attraverso la conoscenza diretta e il coinvolgimento attivo.

Inoltre, il Punto Parco Nocetum coordina le attività di educazione ambientale e alla sostenibilità anche in relazione al programma Sistema Parchi di Regione Lombardia, contribuendo ad un'ampia risonanza delle attività su scala regionale e intrecciando relazioni con altre aree protette.

La campagna educativa e di sensibilizzazione svolta da Nocetum ha coinvolto negli ultimi due anni scolastici: più di 100 classi, oltre 2000 studenti, oltre 200 docenti e dirigenti scolastici, circa 50 scuole provenienti dalla Lombardia e dal Piemonte.





Alcuni momenti di attività con le scuole svolte nell'area Area Sperimentale e Didattica "Informare, Comunicare, Formare"

I percorsi didattico-educativi sono stati ideati con particolare attenzione ai temi portanti di EXPO 2015: pertanto, anche nell'intento di perseguire le finalità della *City Farm* vocata prioritariamente all'informazione, divulgazione e formazione dei visitatori, le attività laboratoriali sono state pensate per maturare nell'allievo un'esperienza formativa in città con i valori della campagna.

Le attività agiscono negli ambiti dell'educazione ambientale, alimentare, territoriale, della sostenibilità; in particolare il tema delle energie rinnovabili trova spazio in forma interdisciplinare e trasversale nei vari ambiti.

4.3 Descrizione corsi specialistici per studenti scuole superiori

Il secondo anno di attività del progetto (2014) è stato focalizzato sulla organizzazione di iniziative (fase 5) volte alla promozione del progetto Insieme. A tal fine, l'Alta Scuola per l'Ambiente (ASA) si è principalmente dedicata alla realizzazione di due eventi: 1) la promozione del progetto presso gli studenti del Master universitario di secondo livello in 'Sviluppo umano e ambiente. Governance, processi formativi e conoscenza scientifica'; 2) l'organizzazione dell'evento 'Le terre bergamasche verso Expo 2015. Management dei territori e gestione della sostenibilità'.

1. La promozione del progetto presso gli studenti del Master universitario di secondo livello in 'Sviluppo umano e ambiente. Governance, processi formativi e conoscenza scientifica' è avvenuta tramite il visiting del Parco della Vettabbia e Valle dei Monaci il 16 maggio 2014. La giornata si è aperta in prima mattinata con un momento di benvenuto e l'illustrazione generale del parco e delle attività in corso, alla presenza dei soggetti associativi e imprenditoriali coinvolti.

Si è poi continuato con la visita della Chiesetta ristrutturata, della City Farm e dell'Area Sperimentale e Didattica. Prima della pausa pranzo si sono realizzati due momenti laboratoriali, l'uno sull'energia, l'altro sul sistema Arduino. La giornata si è conclusa col visiting al depuratore di Nosedo.

2. L'evento 'Le terre bergamasche verso Expo 2015. Management dei territori e gestione della sostenibilità' si è tenuto Sabato 21 giugno 2014 presso il Castello di Malpaga (BG), col patrocinio del Parco Regionale del Serio e la Provincia di Bergamo. La giornata si è aperta con i saluti istituzionali dei rappresentanti del Parco Regionale del Serio, della Regione Lombardia, della Provincia di Bergamo e della Diocesi di Bergamo. Si è quindi dato inizio alla prima sessione intitolata 'Expo Education Milano 2015 – Le sfide del sistema agroalimentare', nell'ambito della quale in particolare il prof. Malvasi si è soffermato sul tema della Progettazione Educativa Sostenibile, mentre il dottorando di ricerca di Alta Scuola per l'Ambiente (ASA), Emanuele Cabini, ha parlato di 'Smart

Governance, consumo di suolo e salute umana'. La dott.ssa Paola Cavagnoli, infine, testimoniando il suo percorso di formazione nell'ambito del Master ASA in Food Management and Green Marketing, ha illustrato la sua esperienza di stagista presso il Parco del Serio volta al rinnovo del suo Marchio Agroalimentare. La seconda sessione della mattinata è stata invece intitolata 'Alimentazione, Agricoltura e Conservazione della Biodiversità: binomi possibili?', e ha visto susseguirsi al tavolo rappresentanti dell'ERSAF Lombardia, del CST Centro Studi per il territorio dell'Università degli Studi di Bergamo, dell'Associazione 'Pianura da Scoprire' e di Malpaga S.p.A. Nel pomeriggio si sono effettuate le Visite Guidate al Castello di Malpaga e alle praterie magre della zona di Riserva di Malpaga – Basella.

5. COMUNICAZIONE E PROMOZIONE: ORGANIZZAZIONE EVENTI

5.1 Individuazione percorso didattico dimostrativo

Il percorso didattico si articolerà su tre (minimo) punti in cui saranno installati i prototipi didattici/dimostrativi realizzati durante il progetto.

Il percorso didattico prevede l'installazione di almeno tre bacheche illustrative dei prodotti realizzati. Le bacheche saranno collocate nei tre punti, presso Nocetum, presso il depuratore e davanti all'Abbazia di Chiaravalle, non appena sarà rilasciata l'autorizzazione da parte degli enti competenti, già contattati.

La bacheca a Nocetum sarà finalizzata ad evidenziare la sede delle attività didattiche e le opere in essa realizzate.

La bacheca presso il depuratore sarà esplicativa degli aspetti scientifici (a livello divulgativo) relativi alla sperimentazione in corso sulle celle a combustibile microbiche.

La bacheca presso l'Abbazia di Chiaravalle descriverà l'installazione delle celle microbiche galleggianti nella Vettabbia.

5.2 Convegni

5.2.1 'Giovani, Scuola e Ricerca per l'Ambiente'. Convegno Acquario Civico di Milano 30.11.2013

Il 30 novembre 2013, come descritto nel pieghevole illustrativo, vedi Fig 5.2.1.a e 5.2.1.b, si è tenuto presso l'acquario civico di Milano il convegno "Giovani, Scuola e Ricerca per l'Ambiente –

Governance, consumo di suolo e salute umana'. La dott.ssa Paola Cavagnoli, infine, testimoniando il suo percorso di formazione nell'ambito del Master ASA in Food Management and Green Marketing, ha illustrato la sua esperienza di stagista presso il Parco del Serio volta al rinnovo del suo Marchio Agroalimentare. La seconda sessione della mattinata è stata invece intitolata 'Alimentazione, Agricoltura e Conservazione della Biodiversità: binomi possibili?', e ha visto susseguirsi al tavolo rappresentanti dell'ERSAF Lombardia, del CST Centro Studi per il territorio dell'Università degli Studi di Bergamo, dell'Associazione 'Pianura da Scoprire' e di Malpaga S.p.A. Nel pomeriggio si sono effettuate le Visite Guidate al Castello di Malpaga e alle praterie magre della zona di Riserva di Malpaga – Basella.

5. COMUNICAZIONE E PROMOZIONE: ORGANIZZAZIONE EVENTI

5.1 Individuazione percorso didattico dimostrativo

Il percorso didattico si articolerà su tre (minimo) punti in cui saranno installati i prototipi didattici/dimostrativi realizzati durante il progetto.

Il percorso didattico prevede l'installazione di almeno tre bacheche illustrative dei prodotti realizzati. Le bacheche saranno collocate nei tre punti, presso Nocetum, presso il depuratore e davanti all'Abbazia di Chiaravalle, non appena sarà rilasciata l'autorizzazione da parte degli enti competenti, già contattati.

La bacheca a Nocetum sarà finalizzata ad evidenziare la sede delle attività didattiche e le opere in essa realizzate.

La bacheca presso il depuratore sarà esplicativa degli aspetti scientifici (a livello divulgativo) relativi alla sperimentazione in corso sulle celle a combustibile microbiche.

La bacheca presso l'Abbazia di Chiaravalle descriverà l'installazione delle celle microbiche galleggianti nella Vettabbia.

5.2 Convegni

5.2.1 'Giovani, Scuola e Ricerca per l'Ambiente'. Convegno Acquario Civico di Milano 30.11.2013

Il 30 novembre 2013, come descritto nel pieghevole illustrativo, vedi Fig 5.2.1.a e 5.2.1.b, si è tenuto presso l'acquario civico di Milano il convegno "Giovani, Scuola e Ricerca per l'Ambiente –

Le risorse della Milano che verrà”. Il convegno, organizzato da CISE 2007, in collaborazione con il Greem e con la Commissione Mobilità Ambiente ed Energia del Comune di Milano, ha potuto contare sulla partecipazione di numerosi altri soggetti di riconosciute capacità ed esperienza in materia.

Fablab. Uno strumento possibile di progettazione partecipata

Ricerca e creatività sono due parole chiave per lo sviluppo sostenibile della nostra società. Ma questi due concetti, per tradursi in pratica, devono trovare spazi fisici dove i giovani, oltre agli impegni scolastici, possano ritrovarsi per realizzare le loro idee con gli strumenti più adatti.

Prima ancora dei poli scientifici e tecnologici bisogna offrire ai giovani l'accesso a strutture più snelle, aperte e a basso costo, dove lo scopo principale sia poter realizzare praticamente un progetto, senza bisogno di preoccuparsi degli investimenti iniziali o interrogarsi sul suo sfruttamento economico.

I FabLab, laboratori per il nuovo artigianato digitale, sono strutture che stanno nascendo in tutto il mondo, basati su un'idea sviluppata al MIT di Boston. Ne abbiamo anche in Italia: Torino, Reggio Emilia, Roma, solo per fare qualche esempio. Richiedono investimenti limitati, possono funzionare con il volontariato, ma costituiscono un potente mezzo per la crescita intellettuale e motivazionale di molti giovani.

Gli amministratori pubblici delle nostre città non potranno fare a meno di essere sensibili a questo fenomeno che sta diventando parte integrante delle politiche giovanili nel nostro Paese.

Giovani, Scuola e Ricerca per l'Ambiente
Le risorse della Milano che verrà

Fablab. Risorsa per la Città e per i suoi giovani

30 novembre 2013 - ore 9,00
 Acquario civico di Milano
 Viale Gadio 2
 20121 Milano
 MM2 Lanza - Mezzi di superficie: 3-4-7-12-14-45-57-61

In collaborazione con la Commissione Ambiente ed Energia
 Comune di Milano

Logos: CISE 2007, greem, Milano Depot, RSE, Italia Nostra, fondazione cariplo, Provincia di Milano, Regione Lombardia.

Fig 5.2.1.a Pieghevole convegno *Giovani, Scuola e Ricerca per l'Ambiente*

Giovani, Scuola e Ricerca per l'Ambiente <i>Le risorse della Milano che verrà</i>	Programma	
<p>La crisi economica degli ultimi anni e i conseguenti tagli al bilancio dello Stato hanno pesantemente penalizzato le Amministrazioni pubbliche e ne hanno limitato la possibilità di interventi sul territorio finalizzati all'innovazione e allo sviluppo delle città.</p> <p>In questo contesto, in cui si affacciano molti giovani entusiasti, capaci e certamente in grado di contribuire con idee nuove alla sostenibilità ambientale, la scuola riveste il ruolo fondamentale di guida nella loro preparazione e formazione. Questi giovani, se ben seguiti e supportati anche dal mondo della ricerca, potrebbero essere uno strumento da indirizzare con successo verso obiettivi concreti e utili per l'ambiente e la società.</p> <p>A tale proposito è necessario che le istituzioni, svolgendo il ruolo di loro competenza, possano coordinare le azioni di associazioni, aziende e mondo della ricerca, ognuno nel proprio ambito, per unire le forze e collaborare in maniera positiva come supporto ai giovani, allo scopo di amplificare e valorizzare il loro entusiasmo e metterlo al servizio della nostra Città.</p> <p>In continuità con le tematiche trattate nei convegni degli anni precedenti, le associazioni CISE2007 e Green propongono quindi una riflessione sulle risorse di cui Milano dispone, che le Autorità competenti devono far emergere, supportare e valorizzare al meglio non solo in vista del prossimo EXPO 2015 ma anche degli anni che seguiranno.</p>	<p>9,00 Registrazione</p> <p>9,30 Benvenuto e saluti Carlo Monguzzi - <i>Presidente Commissione Mobilità Ambiente, Arredo Urbano, Verde - Comune di Milano</i></p> <p>9,45 Flavio Parozzi - <i>Presidente CISE2007</i> Gianni Pampurini - <i>Presidente Green</i> <i>L'impegno delle associazioni per i giovani e la Città</i></p> <p>Franco Mantega e Paolo Bonelli - <i>CISE2007</i> <i>Progetto ARETHA: esperienza partecipata di ricerca e creatività</i></p> <p>Francesca Pizzi - <i>Processista depuratore Milano Nosedo</i> <i>Il depuratore di Nosedo: sito aperto a scuole e ricerca</i></p> <p>Antonio Negri - <i>Direttore Dipartimento Sviluppo Sostenibile e Fonti Energetiche - RSE SpA</i> <i>Smart Cities e Sostenibilità: il ruolo dell'energia</i></p> <p>Bruno Villavecchia - <i>Direttore Ambiente e Energia - AMAT</i> <i>Gli sportelli energia nei quartieri: un servizio sul territorio e un'opportunità</i></p> <p>11,00 Intervallo</p> <p>11,15 Testimonianze e proposte dalla Città</p> <p>Leonardo Gariboldi - <i>Università degli Studi di Milano - Dipartimento di Fisica</i></p> <p>Mariano Galatuzzolo - <i>Istituto Tecnico Industriale - Liceo delle Scienze Applicate "Ettore Molinari"</i></p> <p>Fabio Inzoli - <i>Direttore Dipartimento di Energia Politecnico di Milano</i></p> <p>Ferruccio Frontini - <i>Consigliere Italia Nostra, Sezione Milano Nord</i></p> <p>Taliana Storchi - <i>Coordinatrice Komé, Cooperativa Sociale Onlus</i></p> <p>Elena Dello - <i>Università Cattolica di Milano</i> <i>Dipartimento di Storia, Archeologia e Storia dell'Arte</i></p> <p>12,15 Interventi istituzionali</p> <p>Loredana Bigatti - <i>Presidente Consiglio di Zona 4</i></p> <p>Pierfrancesco Maran - <i>Assessore Mobilità, Ambiente, Energia - Comune di Milano</i></p> <p>Cristina Stancari - <i>Assessore Ambiente, Risorse naturali e idraulica, Energia - Provincia di Milano</i></p> <p>13,00 Aperitivo</p> <p>Moderà il convegno Loredana Bigatti - <i>Presidente Consiglio di Zona 4</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Per iscrizioni al convegno segreteria.convegno.scuolancercin@rse-web.it</i></p> <p style="text-align: center;">La partecipazione al convegno è libera e aperta a tutti</p>	
	<p>www.green.it - info@green.it www.cise2007.eu - staffcise@cise2007.eu</p>	

Fig 5.2.1.b Pieghevole convegno Giovani, Scuola e Ricerca per l'Ambiente - Programma

La partecipazione, da parte di un pubblico attento e interessato è stata molto qualificata. I presenti hanno espresso, alla fine del convegno e nei giorni successivi, giudizi positivi per l'organizzazione ed il contenuto delle relazioni.

La presenza del Vice Presidente di Zona 4 Pierangelo Tosi, dell'Assessore alla Mobilità, Ambiente, Energia del Comune di Milano Pier Francesco Maran e del Presidente della Commissione Ambiente ed Energia del Comune di Milano Carlo Monguzzi è stata molto gradita ed ha portato valore aggiunto alla manifestazione.

Anche la parte tecnica del Convegno, che ha visto la partecipazione di Milano Depur SpA, RSE SpA, AMAT e CISE2007, oltre alle varie testimonianze di soggetti che operano sul territorio e collaborano alla progettazione partecipata della Città, è stata valutata in maniera molto positiva.

Le attività condotte nell'ambito del progetto INSIEME sono state illustrate nel corso di diversi interventi da parte dei relatori.

Programma

Nel pieghevole illustrativo vedi Fig 5.2.1.a e 5.2.1.b è riportato il dettaglio del programma del convegno e le informazioni generali riferite all'evento.

L'ing. Carlo Monguzzi, il Presidente della Commissione Mobilità, Ambiente, Arredo Urbano, Verde del Comune di Milano ha introdotto i lavori.

Nella sessione "Testimonianze e proposte dalla Città", Ferruccio Frontini di Italia Nostra, Sezione Milano Nord, ha presentato le attività del progetto INSIEME", a cui hanno fatto riferimento anche tutte le altre relazioni della mattina.

Flavio Parozzi, Presidente CISE2007, e Gianni Pampurini, Presidente Greem, con la memoria "*L'impegno delle associazioni per i giovani e la Città*" hanno evidenziato il ruolo importante della rete di diversi soggetti presenti sul territorio (aziende, associazioni, istituzioni, scuole ecc.) che operando in modo coordinato sta contribuendo all'arricchimento culturale dei giovani, con interventi attenti allo sviluppo delle professioni del domani.

Franco Mantega e Paolo Bonelli, di CISE2007, hanno presentato il "*Progetto ARETHA: esperienza partecipata di ricerca e creatività*", quale dimostrazione didattica sul tema delle energie rinnovabili che possono essere autoprodotte sul territorio.

Francesca Pizza - Processista depuratore Milano Nosedo , ha presentato la memoria: "*Il depuratore di Nosedo: sito aperto a scuola e ricerca*" in cui, oltre a presentare la sperimentazione in corso sulle celle a combustibile micorbiche, in collaborazione con RSE, ha evidenziato lo stretto rapporto che si è creato tra questa struttura industriale, il mondo della ricerca scientifica e il territorio.

Antonio Negri - Direttore Dipartimento Sviluppo Sostenibile e Fonti Energetiche di RSE SpA, con la memoria *'Smart Cities e Sostenibilità: il ruolo dell'energia, ha ribadito il ruolo centrale delle rinnovabili tra le fonti energetiche in ambito internazionale'*.

Bruno Villavecchia - Direttore Ambiente e Energia – AMAT, società del Comune di Milano, ha testimoniato nella memoria *"Gli sportelli energia nei quartieri: un servizio sul territorio e un'opportunità"* il riscontro e l'attenzione delle istituzioni sugli argomenti trattati e la considerazione del lavoro in corso da parte delle associazioni.

Tra le Testimonianze della mattina, Leonardo Gariboldi - *Università degli Studi di Milano* - Dipartimento di Fisica, ha ribadito, in particolare, l'interesse a collaborare con l'associazione CISE2007 per il recupero del patrimonio storico scientifico del CISE.

Fabio Inzoli - *Direttore Dipartimento di Energia Politecnico di Milano*, ha presentato la situazione aggiornata della ricerca tecnologica nazionale, in raffronto a quella internazionale in campo energetico.

Mariano Calatozzolo - *Istituto Tecnico Industriale - Liceo delle Scienze Applicate "Ettore Molinari"* ha presentato l'importanza di riportare nella scuola le esperienze dal mondo scientifico e industriale.

Tatiana Storchi - *Coordinatrice Koinè, Cooperativa Sociale Onlus* Ha presentato una testimonianza di laboratori artigianali (panificazione, profumi, sapuni ecc) aperti ai cittadini e alle scuole già attivi presso l'Abbazia di Chiaravalle, nella Valle dei Monaci.

Elena Dellù - *Università Cattolica di Milano Dipartimento di Storia, Archeologia e Storia dell'Arte* Ha presentato le attività archeologiche in corso per il recupero dei reperti umani nella cappella della cascina S. Giacomo a Nocetum.

Hanno chiuso il convegno gli interventi istituzionali di Pierangelo Tosi, *vicePresidente del Consiglio di Zona 4* e Pierfrancesco Maran- *Assessore Mobilità, Ambiente, Energia - Comune di Milano*.

Atti del convegno e conclusioni

Il Convegno è stato completamente registrato e sono state scattate le fotografie nel corso della mattinata. I filmati, le immagini e le relazioni presentate, sono pubblicate nel sito internet

www.cise2007.eu, ora rinnovato e unificato con il sito www.greem.it.

5.2.2 Convegno Insieme per EXPO 2015 – Acquario Civico di Milano 27 novembre 2014

Il secondo e conclusivo convegno del Progetto Insieme si è svolto a Milano nell'Acquario Civico della città, e non a caso si è scelta questa sede in ricordo della prima Expo Universale che si svolse a Milano nel 1906 e per l'occasione venne costruito proprio l'edificio che ospitò l'Acquario della città. In quel periodo la comunità internazionale era interessata ai trasporti e a questo tema dedicò l'esposizione universale del 1906 e in quell'anno fu inaugurato il traforo transalpino del Sempione che collegava direttamente via ferrea Milano a Parigi. Un secolo dopo l'interesse della comunità internazionale è l'alimentazione e l'energia. L'anno prossimo a Milano si parlerà di 'Nutrire il pianeta e della energia per la vita'. In anteprima il Progetto Insieme ha lavorato durante questi due anni proprio sul tema della energia mettendo a confronto esperienze di tecnologie energetiche antiche e future al servizio della sostenibilità.

Come indicato dalla locandina del convegno il Progetto Insieme per due anni ha messo insieme realtà e intellegenze molto diverse tra di loro: associazioni, istituzioni, soggetti imprenditoriali, centri di ricerca e università che hanno avuto come comune denominatore lo stesso territorio: il Parco della Vettabbia di Milano (un parco agricolo di città all'interno del Parco Regionale Parco agricolo Sud Milano) come parte integrante di un territorio più vasto, la 'Valle dei Monaci' che si stende da Milano fino al fiume Po.

Quest'esperienza di progettazione partecipata e di lavoro in rete, insieme ad altre iniziative attive nella città di Milano, rappresentano un valore aggiunto di dimensione strategica, in virtù delle necessità derivate dalla crisi economica, ancora non risolta, e dei successivi tagli al bilancio dello Stato, che limitano la possibilità di interventi diretti sul territorio da parte delle Amministrazioni. L'impegno e la collaborazione tra istituzioni e cittadini si rivela certamente lo strumento più idoneo e forse l'unico modo per trasformare Milano in una grande città europea, viva e sostenibile. Il gruppo di lavoro del Progetto Insieme ha iniziato a lavorare nel 2010, e più intensamente nei due ultimi anni (biennio 2012-2014), secondo gli obiettivi precedentemente citati e i risultati sono stati condivisi nell'ultimo e conclusivo convegno dell' scorso 27 novembre 2014 tenutosi a Milano.

Il convegno è stato diviso in tre parti (vedi programma allegato fig 5.2.2.b e 5.2.2.c); nella prima parte hanno preso la parola i rappresentanti dell'istituzioni, associazioni e soggetti imprenditoriali che hanno fatto possibile la nascita e lo sviluppo del Progetto Insieme: Flavio Parozzi (presidente di CISE 2007) insieme a Giovanni Pampurini (presidente GREEM) i quali hanno ideato e seguito

nel dettaglio lo sviluppo del Progetto. I due presidenti hanno sottolineato che il Progetto Insieme si è rivelato un'ottimo strumento per lavorare in rete con i diversi soggetti che operano sul territorio

della Roggia Vettabbia, conosciuto a loro da più di trent'anni. Anche la dott.ssa Luisa Toeschi, presidente della Sezione Nord Milano dell'Associazione Italia Nostra in qualità di capogruppo del Progetto Insieme da gennaio 2014, ha voluto rimarcare l'ottimo lavoro di squadra e le similitudini tra il territorio di appartenenza del Parco della Vettabbia e il Boscoincittà. Quasi come se si trattasse di una realtà speculare; la Vettabbia a a est il Boscoincittà a ovest.



Fig 5.2.2.a Proposta RSE per EXPO 2015 'Celle a combustione microbiche per promuovere la raccolta dell'umido?!?'

Durante la mattinata la parola è stata data anche alla dott.ssa Valeria Garibaldi, vicedirettrice della Sezione Ambiente della Fondazione Cariplo, che ha portato all'attenzione di tutti i partecipanti un tema sul quale la Fondazione Cariplo sta invertendo importantissime risorse: *'Salvaguardare il territorio rurale periurbano nel Parco Agricolo Sud Milano'*. La dottoressa Garibaldi ha illustrato diversi esempi di come la Fondazione supporta tutti quei progetti che si sviluppano dal basso e dai bisogni espressi dai territori tra cui il Progetto Insieme. Vengono premiati sempre di più i progetti che fanno lavorare in rete i diversi soggetti che operano su un territorio e dimostrano di poter andare avanti con le proprie risorse.

Molto interessanti gli interventi della dott.ssa Francesca Pizza, processista nel Depuratore di Nosedo e della dott.ssa Pierangela Cristiani, ricercatrice presso il RSE SpA. Senz'altro, sia il Depuratore di Nosedo che il RSE, i due soggetti imprenditoriali che hanno voluto e sostenuto il

Progetto Insieme dalla sua nascita sia dal punto di vista tecnico, logistico che operativo, sono stati decisivi nell'ottima riuscita del Progetto stesso. La dott.ssa Pizza ha illustrato la nascita del Parco della Vettabbia, di circa 100 ettari, quale opera di compensazione ambientale legata alla costruzione del Depuratore di Nosedo, inaugurato nel 2005 ed oggi un'esempio a livello internazionale di efficienza energetica e sostenibilità ambientale. L'elemento naturale che per eccellenza viene gestito dal Depuratore è l'acqua. Da una parte viene restituita con un'ottima qualità all'agricoltura a scopi irrigui, da un'altra il suo potenziale termico viene in minima parte utilizzato per riscaldare e raffreddare diversi ambienti all'interno del Depuratore, ma le potenzialità per attivare un'impianto di teleriscaldamento a livello cittadino sono molto interessanti.

La dott.ssa Cristiani ha lanciato una proposta espositiva per EXPO 2015: *'Celle a combustione microbiche per promuovere la raccolta dell'umido??'* (vedi fig 5.2.2.a). I batteri degradano i rifiuti organici restituendo acqua pulita oppure energia elettrica. Per EXPO 2015 non solo si vuole lavorare con i rifiuti organici ma anche con le celle a combustibile microbica (MFC) e proporre delle aiuole galleggianti. La dott.ssa Cristiani ha manifestato una grande soddisfazione per il lavoro svolto verso i bambini e ragazzi che grazie al Progetto Insieme, giocando, hanno avuto la possibilità di avvicinarsi alla scienza e alla ricerca. Il titolo della sua relazione raccoglie questo particolare interesse: *'Celle a combustione microbiche. Ricerca, Didattica e Divulgazione'*.

Con il patrocinio di



"INSIEME"
Esperienze di Tecnologie Energetiche Antiche e Future al Servizio della Sostenibilità

Associazioni, Università, Centri di Ricerca, Aziende e Istituzioni hanno operato fianco a fianco per due anni svolgendo attività scientifico didattica sulle celle microbiche attraverso incontri e laboratori con le scuole primarie e secondarie, e creando iniziative sul territorio per favorire una partecipazione dei cittadini, attiva e attenta alle necessità sociali.



INSIEME è un'idea progettuale sviluppata nella **"Valle dei Monaci"**, un'area all'interno del **Parco Agricolo Sud**

Milano, dove convivono strutture agricole e insediamenti industriali in armonia con il **Parco della Vettabbia**, l'**Abbazia di Chiaravalle** e il suo patrimonio di storia, arte, scienza e cultura.

L'area coinvolta, oggetto di un risvegliato interesse da parte di numerose realtà, pur essendo in prevalenza agricola, confina con gli ultimi insediamenti residenziali della città in zona "Corvetto" ed è la periferia agricola più vicina al centro di Milano.



Il progetto **INSIEME**, proseguendo l'esperienza positiva nota come **"Città Viva e Sostenibile"**, partecipata da molti soggetti impegnati a rendere più vivo e sostenibile il territorio in cui operano, e quindi la città stessa di Milano, ha favorito lo sviluppo di una rete di soggetti che condividono gli stessi obiettivi e il metodo di lavoro.

Far conoscere questa esperienza e valorizzarla in un ambito più ampio come **EXPO 2015** significa anche fornire un esempio positivo che altre realtà cittadine simili alla nostra possono fare proprio.

INSIEME per EXPO2015
L'esperienza di oggi nella Valle dei Monaci per una Milano Viva e Sostenibile di domani



Partecipanti al Master "Sviluppo Umano e Ambiente" in visita al depuratore di Nosedo e al pannello solare Aretha

27 novembre 2014 - ore 9,00
 Acquario civico di Milano
 Viale Gadio 2
 20121 Milano
 MM2 Lanza - Mezzi di superficie 3-4-7-12-14-45-57-61

In collaborazione con la Commissione Ambiente ed Energia
 Comune di Milano



Fig 5.2.2.b Pieghevole convegno Insieme per EXPO 2015

La seconda parte del convegno è stato incentrata sulle testimonianze di alcune delle associazioni che da decenni lavorano sul territorio della Vettabbia e curano diversi aspetti della collettività: Nocetum, Borgo di Chiaravalle, Cooperativa La Strada, Istituto Tecnico Industriale Molinari, Cooperativa Koinè, Italia Nostra e tante altre, circa una quarantina, che in quest'anni hanno lavorato intensamente perchè questo territorio a sud della città di Milano torni a riprendere lo splendore dei secoli precedenti prima della soppressione dell'Ordine Monastico (vedi pieghevole convegno fig 5.2.2.c). Oggi a Chiaravalle vive una comunità monastica, l'acqua nera della città

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

escono pulite dopo che hanno attraversato il depuratore di Nosedo, attivano il Mulino Grande ed irrigano i campi a sud della città, la società civile è molto attiva.

<p align="center">INSIEME per EXPO2015</p> <p align="center"><i>L'esperienza di oggi nella Valle dei Monaci per una Milano Viva e Sostenibile di domani</i></p> <p>Lo sviluppo di un'idea progettuale per il Parco della Vettabbia nella Valle dei Monaci, resa possibile dal progetto "INSIEME" - Esperienze di Tecnologie Energetiche Antiche e Future al Servizio della Sostenibilità, ha messo in evidenza la grande ricchezza di questo territorio e dei vari soggetti che lo praticano.</p> <p>Associazioni, Istituzioni, Soggetti Imprenditoriali, Centri di Ricerca e Università hanno saputo confrontare le proprie idee, progettare, sperimentare interventi innovativi e sostenibili in ambito energetico - ambientale, e condividere con i cittadini esperienze di valore che possono rappresentare un esempio virtuoso da riprodurre in situazioni territoriali analoghe.</p> <p>Queste esperienze di progettazione partecipata, che rappresentano un valore aggiunto per la Città, vanno incontro alle necessità derivate dalla crisi economica, ancora non risolta, e dai tagli al bilancio dello Stato, che limitano la possibilità di interventi diretti sul territorio da parte delle Amministrazioni.</p> <p>Valorizzarle attraverso la partecipazione a EXPO2015 e diffonderle a un pubblico sempre più ampio significa porre le basi per un modo nuovo di vedere la Città e il suo sviluppo futuro. L'impegno e la collaborazione tra Istituzioni e Cittadini si rivelerà certamente lo strumento più idoneo per trasformare Milano in una grande Città Europea Viva e Sostenibile.</p> <p align="center">Energie antiche e future CONCORSO FOTOGRAFICO PER TUTTI</p>  <p>In occasione del convegno sarà presentata la mostra fotografica con le immagini selezionate dalla Giuria e verranno premiati i vincitori</p> <p align="center">www.greem.it - info@greem.it www.cise2007.eu - staffcise@cise2007.eu</p>	<p align="center">Programma</p> <p>9,00 Registrazione</p> <p>9,30 Benvenuto e saluti Emanuele Lazzarini - Commissione Mobilità, Ambiente, Arredo Urbano, Verde - Comune di Milano</p> <p>9,45 Flavio Parozzi - Presidente CISE2007 Gianni Pampurini - Presidente Greem INSIEME per EXPO2015</p> <p>Valeria Garibaldi - Vice Direttore Area Ambiente - Fondazione Cariplo Salvaguardare il territorio rurale periurbano nel Parco Agricolo Sud Milano</p> <p>Francesca Pizzi - Processista depuratore Milano Nosedo Il depuratore di Nosedo e il progetto Parco della Vettabbia</p> <p>Pierangela Cristiani - Ricercatrice presso RSE SpA Celle a combustibile microbiche: Ricerca, Didattica e Divulgazione</p> <p>11,00 Intervallo</p> <p>11,15 Testimonianze dei protagonisti</p> <p>Ferruccio Frontini - Consigliere Italia Nostra, Sezione Milano Nord Cintura Metropolitana</p> <p>Maria Vittoria Gatti - Referente per la Comunicazione Rete Valle Monaci</p> <p>Gilberto Sbaraini - Presidente della cooperativa Sociale La Strada</p> <p>Tiziana Galvanini - Presidente Associazione Borgo di Chiaravalle</p> <p>Mariano Calatozzolo - Istituto Tecnico Industriale - Liceo delle Scienze Applicate "Ettore Molinari"</p> <p>Tatiana Storchi - Coordinatrice Komé, Cooperativa Sociale Onlus</p> <p>12,15 Interventi istituzionali</p> <p>Loredana Bigatti - Presidente Consiglio di Zona 4</p> <p>Enrico Murtula - Componente Staff della Vice Sindaco di Milano</p> <p>Concorso fotografico "Energie antiche e future" mostra e premiazione dei vincitori</p> <p>"I rifiuti diventano arte" nelle sculture di Gabriele Jardim Testimonianza fotografica dell'autore</p> <p>13,00 Aperitivo</p> <p>Modera il convegno Emanuele Lazzarini - Consigliere comunale di Milano</p> <p align="center">La partecipazione al convegno è libera e aperta a tutti</p>
---	--

Fig 5.2.2 c Pieghevole convegno Insieme per EXPO 2015

Il convegno si è concluso con la premiazione del concorso fotografico che aveva come titolo 'Energie antiche e future' e che aveva come obiettivo sensibilizzare i cittadini al rispetto per l'ambiente e la valorizzazione del territorio. I temi proposti erano il ciclo dell'energia e della vita, la tecnologia e la sostenibilità, l'arte per raccontare. Hanno partecipato circa venti partecipanti con un centinaio di immagini di grande interesse.

Gli organizzatori CISE 2007 e GREEM hanno predisposto un premio di partecipazione (Buono in materiale fotografico di 10,00E) per tutti quei partecipanti che non sono stati premiati dalla giuria: Sergio San Severino, Alessia, Bellatorre, Andrea Garlinzoni, Andrea Parozzi, Pier Antonio Borroni, Elisa Zanghen, Isabella Novati, Jole Novello, Marainna Faraci, Marta Abbate, Paolo Riva, Simone Marinelli e Rita Spaggiari.

Sono stati premiati i vincitori con primi tre premi (vedi in dettaglio paragrafo 5.3). I vincitori del 3° premio sono stati a pari merito Adriano Vignali (presente in sala), Laura Spizzichino e Stefania Rizzeli, i 2° premi sono andati a Michele Sebregondio (presente in sala) e Carmela Anna Prescimone; i vincitori del 1° premio a pari merito sono stati Lorenzo Nicotra e Matteo Anderloni (presenti in sala)



Fig 5.2.2.d Premiazione del concorso. Da sinistra: Loredana Bigatti - Presidente del Consiglio di Zona 4, Enrico Murtula – Componente dello staff del vicesindaco di Milano, Emanuele Lazzarini – Ocnigliere comunale di Milano, Mariàngeles Expòsito Peinado – coordinatore del Progetto Insieme per conto di Italia Nostra (Sezione Nord Milano), Lorenzo Nicotra e Matteo Anderloni i vincitori cdel concorso fotografico con il primo premio

Durante lo svolgimento del convegno sono stati allestiti dei pannelli che hanno raccolto le sette fotografie vincitrici e un'immagine per ogni partecipante e inoltre sono stati allestiti a scopo dimostrativo sia il lavoro svolto dal Politecnico di Milano – Polo di Cremona: reattore dimostrativo-

didattico di produzione di biogas da fanghi e rifiuti organici; che quello dell'Università di Pavia: una piattaforma in grado di utilizzare l'energia di alcune celle combustibile microbiche per alimentare carichi elettronici, come led luminosi e trasmettitori di dati wireless.

Energie antiche e future



Lorenzo Nicotra - La triste normalità
 I° Premio



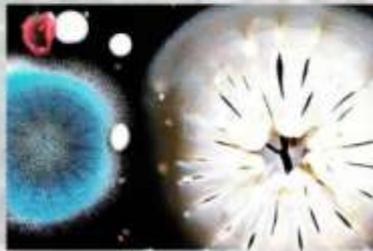
Matteo Anderloni - Ruote nella nebbia
 I° Premio



Michèle Sebregondio - Grano ferroso
 II° Premio



Carmela Anna Prescimone -
 L'inquinamento può risultare artistico
 II° Premio



Stefania Rizzelli - L'arte dei batteri
 III° Premio



Laura Spizzichino
 La natura ti ama: un albero forma un cuore
 III° Premio



Adriano Vighali - Bocca risorgiva
 III° Premio

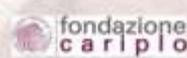


Fig 5.2.2.e Pannello con le sette immagini vincitrici del concorso fotografico



Fig 5.2.2 f Pannelli con le immagini di tutti i partecipanti al concorso fotografico

Energie antiche e future



Andrea Parozzi - Felicità naturale



Carmela Anna Prescimone - Dimenticanza



Andrea Garlinzoni - Atomo e natura



Isabella Novati - Lago di Santa Massenza



Maria Abbate - Capre



Pier Antonio Borroni - Dimenticanza



Sergio Sansevrino - Una terra da salvare



Elisa Zaghen - Famiglia numerosa



Fig 5.2.2.g Dettagli pannello con le immagini dei partecipanti al concorso fotografico

Energie antiche e future



Paolo Riva - Impianto fotovoltaico



Michele Sebegondio - Degrado



Pier Antonio Berroni - Tramonto



Rita Spoggiari - Desertificazione



Michele Sebegondio - Elettrodi



Marianna Faraci - Fashion in fiber recovery



Jole Novello - Auto elettriche



Adriano Vignali - Ciclo recupero zucchero



Fig 5.2.2.h Dettagli pannello con le immagini dei partecipanti al concorso fotografico

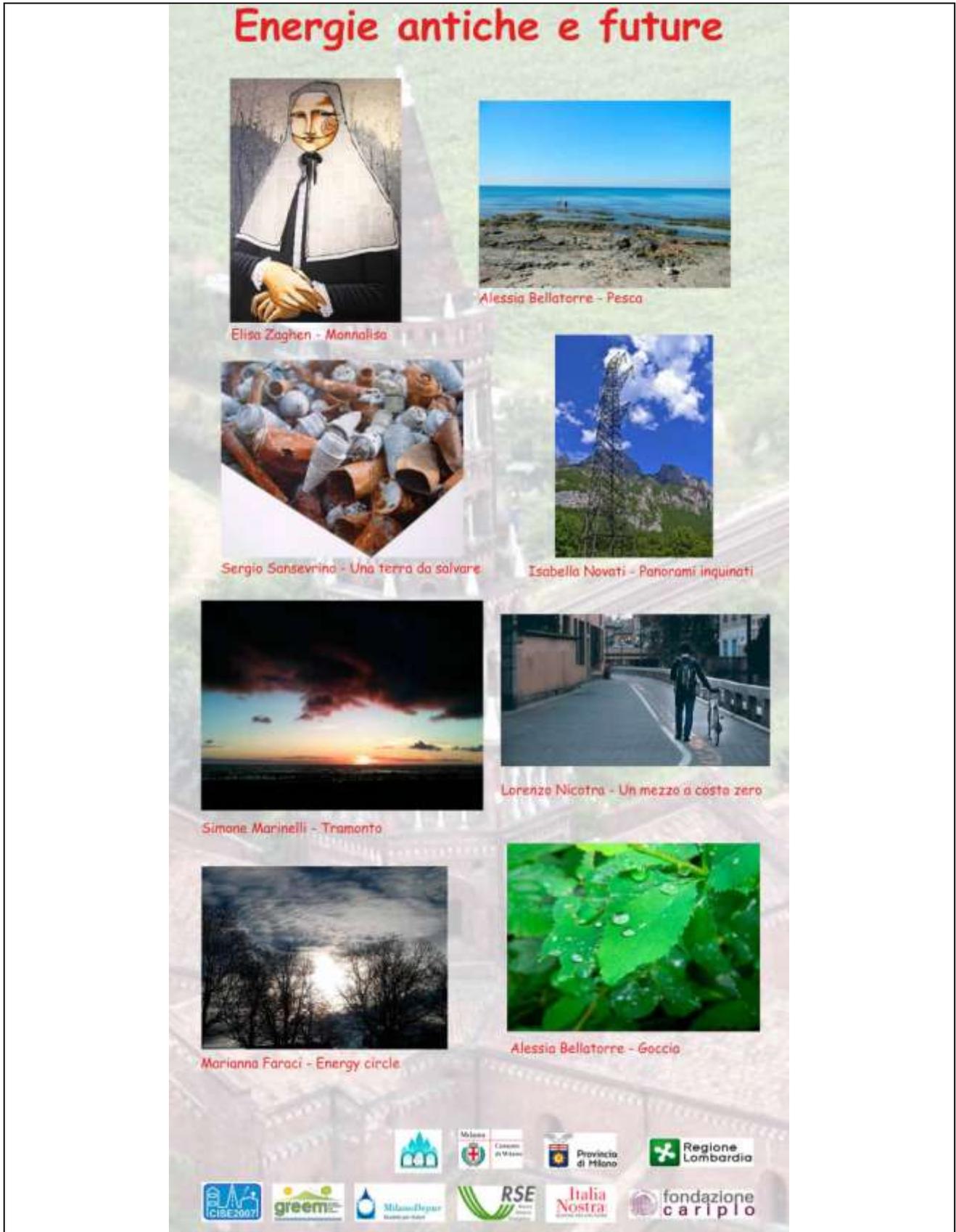


Fig 5.2.2.i Dettagli pannello con le immagini dei partecipanti al concorso fotografico



Fig 5.2.2.j Reattore dimostrativo-didattico di produzione di biogas da fanghi e rifiuti organici

Gli Atti del convegno sono stati registrati integralmente e scaricati nella pagina web www.cise2007.eu, ora rinnovato e unificato con il sito www.greem.it, dedicata al Progetto 'Insieme'. Un riassunto dello stesse sarà scaricato in Youtube

5.3 Concorso Fotografico 'Energie antiche e future'

La diffusione delle iniziative, tra cui il concorso fotografico "Energie antiche e future" sono state disseminate on line su un bacino di più di un migliaio di contatti diretti. In basso locandina promozionale.

Per l'azione, ASA con il coordinamento della dott.ssa Stefania Fontana, ha provveduto a inviare a tutte le classi coinvolte nelle visite del Progetto Insieme il volantino del concorso fotografico (vedi fig 5.3) predisposto dall'Associazione CISE 2007 e a contattare telefonicamente tutti gli istituti scolastici coinvolti, per invitarli a candidarsi al percorso. L'Istituto Besta e l'Istituto Molinari hanno confermato il proprio interesse alla partecipazione al Concorso Fotografico.

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

I concorrenti si potranno cimentare liberamente in una "caccia fotografica" per documentare o interpretare e valorizzare in senso artistico situazioni legate alla sostenibilità, alle tecnologie energetiche, al rispetto per la natura e all'uso razionale delle risorse nella Valle dei Monaci, a cui il concorso si ispira.

A titolo indicativo si citano alcuni possibili argomenti da sviluppare:

Il ciclo dell'energia e della vita:

- Tutto è legato, tutto ritorna
- La necessità ed il superfluo
- Le risorse finite ed infinite

La tecnologia e la sostenibilità

- Il risparmio e l'efficienza come valori
- I rifiuti ed il recupero delle risorse
- La salvaguardia dell'ambiente rurale e delle acque

L'Arte per raccontare

- Le forme d'arte attraverso i rifiuti
- Il design, il riciclo e i nuovi materiali
- La conoscenza dal passato al futuro

"INSIEME"
 Esperienze di Tecnologie Energetiche Antiche e Future al Servizio della Sostenibilità è un'idea progettuale per il Parco della Vettabbia nella Valle dei Monaci.

Il progetto ha l'ambizione di sperimentare tecnologie sostenibili - tradizionali e avveniristiche - legate alla risorsa acquifera, in un'isola-parco rurale in contrasto con l'ambiente urbano circostante, ispirata alla sobrietà e all'operosità dei monaci. Una testimonianza educativa e didattica indirizzata soprattutto alle nuove generazioni.

Per informazioni sul progetto
http://www.cise2007.eu/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=50&catid=22&Itemid=124

Con la collaborazione di

CONCORSO FOTOGRAFICO
Energie antiche e future

Il concorso è bandito dalle Associazioni **CISE2007** (Centro Italiano Sostenibilità Energia) e **Green** (Gruppo Ecologico Est Milano) per sensibilizzare i cittadini al rispetto per l'ambiente e alla valorizzazione del territorio.

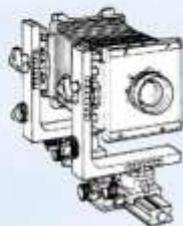
Una sessione del concorso è interamente dedicata agli studenti delle scuole primarie e secondarie.

Il concorso si sviluppa nell'ambito del progetto **INSIEME** co-finanziato da Fondazione Cariplo, RSE SpA e Milano Depur SpA, con cofeilo Italia Nostra.

5.3.a Locandina concorso fotografico

In data 17 novembre 2014, presso il Depuratore di Nosedo, si è riunita la giuria che ha valutato un centinaio di fotografie che sono state presentate al concorso. La giuria era composta da due fotografi Vincenzo Tavano e Roberto Tolotti insieme a Stefania Fontana rappresentante di ASA-Alta Scuola per l'Ambiente (assente per malattia), Mariàngeles Expòsito per Italia Nostra –Sezione Milano Nord e Maurizio Brioschi in nome del Consiglio di Zona 4.

Modalità di partecipazione



La partecipazione al concorso è gratuita e aperta a tutti i cittadini.

Una sessione del concorso è interamente dedicata agli studenti delle scuole primarie e secondarie.

Le opere, in numero non superiore a 5 per concorrente, dovranno essere inviate, entro il **30 settembre 2014**, all'indirizzo e mail vintavfoto@yahoo.it, accompagnate dalla scheda di partecipazione o consegnate direttamente presso lo Studio Fotografico: **SISSIFOTO, via Ciceri Visconti 4 - Milano**

I file, in formato jpg, dovranno avere dimensioni comprese tra 2Mb e 4Mb),

La scheda di partecipazione, scaricabile dal sito internet www.cise2007.eu dovrà contenere le seguenti indicazioni:

- numero progressivo delle foto
- titolo e breve didascalia esplicativa
- luogo in cui è stata scattata la foto.
- cognome, nome, indirizzo, cell. ed e mail dell'autore
- nel caso della sessione scuole dovrà essere specificato l'istituto scolastico di appartenenza

IL MATERIALE NON CONFORME A QUANTO PREVISTO DAL REGOLAMENTO NON SARÀ AMMESSO AL CONCORSO

Per informazioni, consigli e per il ritiro dei premi:
SISSIFOTO di Vincenzo Tavano-Tel.333 2172940
Via Ciceri Visconti 4 - Milano

Le opere saranno valutate da una giuria costituita da esperti in materia e rappresentanti di Associazioni e Istituzioni. La sua composizione sarà comunicata attraverso il sito internet www.cise2007.eu

Le migliori immagini segnalate, tra cui saranno scelte quelle da premiare, verranno stampate, montate su forex adesivo con spessore di 5 mm e presentate al pubblico in occasione della premiazione, che si terrà contestualmente al convegno annuale di CISE2007 e Greem.

La data e il luogo del convegno saranno messi in evidenza sul sito internet www.cise2007.eu

I primi tre concorrenti classificati saranno premiati con buoni per l'acquisto di fotocamere o materiale fotografico presso lo Studio SISSIFOTO.

Le migliori opere segnalate e premiate, saranno rese disponibili per mostre itineranti su richiesta degli interessati.

Sessione Scuole

I partecipanti alla sessione scuole dovranno presentare le loro opere entro il **30 aprile 2014**. La giuria si riunirà i giorni successivi per valutare le immagini pervenute, segnalare le migliori e scegliere quelle da premiare.

Le opere segnalate verranno stampate, montate su forex adesivo con spessore di 5 mm e presentate al pubblico in occasione della premiazione che si terrà **l'11 maggio 2014 presso il depuratore di Nosedo**, in concomitanza con lo svolgimento della Marcia Ecologica.

I primi tre concorrenti classificati saranno premiati con buoni per l'acquisto di fotocamere o materiale fotografico presso lo **Studio SISSIFOTO**. Agli Istituti Scolastici abbinati saranno assegnate targhe di partecipazione al concorso.

LA PARTECIPAZIONE AL CONCORSO IMPLICA AUTOMATICAMENTE L'ACCETTAZIONE DEL PRESENTE REGOLAMENTO ED IN PARTICOLARE L'AUTORIZZAZIONE DEGLI AUTORI ALLA CESSIONE DELLE IMMAGINI E AL LORO UTILIZZO DA PARTE DI CISE2007

www.cise2007.eu - staffcise@cise2007.eu

5.3.b Locandina concorso fotografico

La metodologia utilizzata dalla giuria è stata quella di eliminare in prima istanza le immagini che ha ritenuto fuori tema. Di seguito le immagini che non avevamo una qualità tecnica, estetica e compositiva minima da poter concorre. Sono state scelte una ventina d'immagini semifinaliste. In merito all'omogeneità dell'immagini, insieme agli organizzatori, sono stati scelti due primi premi a pari merito, due secondi premi a pari merito e tre terzi premi a pari merito. Si è deciso per tanto di distribuire i premi tra più immagini e concorrenti.

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



5.4.c Fotografie semifinaliste

Di seguito le sette immagini finaliste:

1° Premio a pari merito con un buono di 350,00E ciascuno Lorenzo Nicotra con 'La triste normalità' e Matteo Anderloni con 'Ruote nella nebbia'

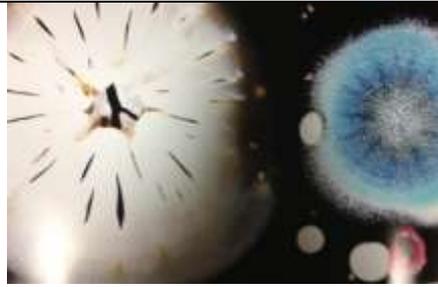
PROGETTO 'INSIEME' - *Esperienze di Tecnologie Energetiche Antiche e Future al Servizio della Sostenibilità*
 Una idea progettuale per il Parco della Vettabbia nella Valle dei Monaci
Relazione illustrativa – Versione finale
dicembre 2014

	
<p>5.4.d <i>'La triste normalita'</i>- 1° PREMIO</p>	<p><i>'Ruote nella Nebbia'</i> – 1° PREMIO</p>

2° premio a pari merito con un buono di 250,00E ciascuno per Michele Sebergondio con *'Grano di ferro'* e Carmella Anna Prescimone con *'L'inquinamento può risultare artistico'*

	
<p>5.4.e <i>'Grano di ferro'</i>- 2° PREMIO</p>	<p><i>'L'inquinamento può risultare artistico'</i>- 2° PREMIO</p>

3° premio a pari merito con un buono di 100,00E ciascuno Adriano Vignali con *'Foto subacquea di un sifone'*, Laura Spizzichino con *'La natura ti ama-un albero a forma di cuore'* e Stefania Rizzelli con *'L'arte dei batteri'*

		
<p>5.4.f <i>'Foto subacquea di un sifone'</i>- 3° PREMIO</p>	<p><i>'L'arte dei batteri'</i>- 3° PREMIO</p>	<p><i>'La natura ti ama-un albero a forma di cuore'</i> 3°PREMIO</p>

Di seguito viene riportato il verbale della giuria

Verbale della Giuria

La giuria del concorso fotografico "Energie Antiche e Future costituita da

Vincenzo Tavano	Fotografo professionista
Roberto Tolotti	Fotografo professionista
Stefania Fontana	ASA-Alta Scuola per l'Ambiente
Mariangeles Exposito	Italia Nostra Milano Nord
Maurizio Brioschi	Consiglio di Zona 4

La Sig.ra Stefania Fontana è assente per motivi di salute.

Si è riunita lunedì 17 novembre, alle ore 15, presso il depuratore di Nosedo-via San Dionigi 90, per giudicare le opere pervenute, selezionare quelle più significative con cui verrà allestita la mostra e assegnare i premi. Le opere pervenute, accettate e numerate, sono state sottoposte ai membri della giuria in forma anonima.

Criteri di valutazione:

- valutazione pertinenza tematica;
- composizione e presentazione fotografica;
- coerenza con la descrizione riportata nella scheda di partecipazione.

La giuria ha visionato tutte le stampe e le immagini proiettate.

E' stata effettuata una prima selezione per immagini ritenute fuori tema escludendone 27.

Dalle rimanenti non sono state selezionate per la fase finale altre 26 immagini perché ritenute tecnicamente non adeguate.

Delle 19 immagini finaliste, la giuria ha deciso di premiarne 7 con questa modalità:

1° premio a pari merito Lorenzo Nicotra con "La Triste Normalità" e Matteo Anderloni "Ruote Nella Nebbia" che si aggiudicano un buono da 350,00 euro ad autore;

2° premio a pari merito Michele Sebregondio con "Grano Ferroso" e Carmela Anna Prescimone con "Inquinamento: può risultare artistico" che si aggiudicano un buono da 250,00 euro ad autore;

3° premio a pari merito Adriano Vignali con "Foto subacquea di sifone", Laura Spizzichino con "La natura ti ama: un albero forma un cuore" e Stefania Rizzelli con "L'arte dei batteri" che si aggiudicano un buono da 100,00 euro ad autore.

Le 7 foto finaliste hanno secondo la giuria interpretato al meglio il tema proposto dal concorso e giudicano le stesse di buon livello fotografico.

La Giuria:

Mariangeles Exposito
Maurizio Brioschi
Roberto Tolotti
Vincenzo Tavano

MILANO, 17 NOVEMBRE 2014

5.4 Pagina Web

Come concordato nel corso dell'incontro avvenuto il 16 gennaio 2013 si sono realizzate alcune pagine internet, illustrative del progetto INSIEME, successivamente inserite nel sito di CISE2007, alle quali potranno fare riferimento Italia Nostra, titolare del progetto con tutti i partner e i sottocontraenti.

Come è noto, a seguito della malattia e successivo decesso del nostro webmaster, il sito di CISE 2007 è stato rivisto, modificato ed integrato con quello dell'associazione Greem.

Ciò ha comportato necessariamente la revisione e una nuova struttura anche delle pagine relative al progetto INSIEME. Attualmente la pagina iniziale del progetto INSIEME è raggiungibile al link http://www.cise2007.eu/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=50:il-progetto-insieme&catid=22:iniziativa&Itemid=124, dalla quale possono essere raggiunte le pagine relative alla presentazione e struttura del progetto e alle fasi operative:



5.4.a Copertina sito web

La pagina relativa alla presentazione e struttura del progetto, raggiungibile direttamente al link <http://win.cise2007.eu/Progetto%20INSIEME/Index.html> è organizzata in tre colonne ed una banda inferiore, che riporta i loghi di Fondazione Cariplo, RSE e Milano Depur, rispettivamente Sostegno al progetto, Coordinamento scientifico e Supporto logistico, linkati ai siti originali.

La colonna di sinistra contiene i Soggetti coinvolti, suddivisi in Associazioni, Università ed Enti Pubblici, con i rispettivi loghi linkati ai siti originali. La colonna centrale è dedicata alla

presentazione del progetto INSIEME, anche attraverso un link che guida alla descrizione completa del progetto. Il secondo link, dove avrebbero dovuto essere resi visibili tutti gli eventi organizzati dai vari partecipanti, è stato disattivato in quanto gli eventi saranno trattati nella nuova parte relativa alle fasi operative. Nella colonna di destra sono invece contenute le varie fasi del progetto, con una breve nota che rimanda, attraverso un link, alle pagine descrittive delle varie fasi.

La pagina relativa alle fasi operative del progetto, raggiungibile direttamente al link http://www.cise2007.eu/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=48&catid=22&Itemid=124, riprende la descrizione delle varie fasi del progetto, all'interno delle quali troverà spazio il materiale inviato dai partner e sottocontraenti, raccolto da Italia Nostra.

Il materiale che i partner e i sottocontraenti invieranno per la pubblicazione sul sito, dovrà rispettare alcune semplici regole, finalizzate ad agevolare il lavoro di introduzione nel sito. A tale proposito vengono fornite alcune linee guida vedi allegato 1.

Il territorio di competenza del Progetto 'Insieme' è stato anche pubblicizzato e promosso tramite il sito web della Valle dei Monaci, la cui gestione di tutte le attività è affidata all'ufficio stampa di Nocetum.

5.5 Altri eventi correlati

A titolo d'esempio, alcuni eventi correlati al progetto realizzati all'interno del Parco:

- Happy Hour di Natale, tenutosi il 15 Dicembre 2012 - Il progetto ha avuto visibilità ed esemplificazione: sono stati allestiti degli alberelli di natale illuminati da lucine alimentate da energia prodotta da "piccole celle a combustione microbiche".
- 1° Camminata dei monaci del 2 Giugno 2013 è stato organizzato, insieme a vari soggetti attivi nella zona, un pellegrinaggio che ha toccato vari luoghi significativi del Parco della Vettabbia (Nocetum, Cascina Grande di Chiaravalle, Abbazia di Chiaravalle, Borgo di Chiaravalle).
- 2° Camminata dei monaci del 1 Settembre 2013 – giornata dedicata alla salvaguardia del creato - è stato organizzato un secondo pellegrinaggio che ha avuto come focus l'acqua e la bonifica, passata e presente, del territorio; tra gli altri sono stati coinvolti nella realizzazione della giornata: i monaci dell'Abbazia di Chiaravalle, il Depuratore di Nosedo, l'Associazione Borgo di Chiaravalle, la cooperativa sociale Koinè e l'Associazione Art.9.

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

- 3° camminata dei Monaci – Marcia Ecologica l'11 maggio 2014

Programma del pomeriggio

Abbazia di Chiaravalle

Pranzo al bar dell'Abbazia
 Il bar sarà aperto tutto il giorno come punto ristoro. Dalle 12.00 sarà possibile pranzare con panini e con grigliata mista su prenotazione. Celli Esso 392-2053565, celli Ivano 392-1750614.

Visita all'Abbazia e mulino
 Alle 15.00 visita al complesso monastico (Abbazia, chiostro e mulino), a cura di guide della Cooperativa Koinè. La visita, al costo di 5,00 euro a persona, avrà una durata circa 1,5 h. Dalle 15.00 alle 18.00, con partenza ogni 30 minuti, visita guidata all'antico mulino. Costo 3,00 euro a persona.

Laboratorio di erboristeria
Pasta per i denti alla Salvia
 Alle 15.00, per adulti e bambini. Laboratorio per la creazione di una pasta per la pulizia del tartaro, naturale al 100%, a base di Salvia e Argilla. Costo 10,00 euro a persona. (sconto di 2€ per i partecipanti alla marcia che esibiranno il buono ritirato all'arrivo presso lo stand Koinè)

La biglietteria per visite e laboratori al mulino e all'Abbazia è presso la bottega dei monaci.

Apertura straordinaria cappella di San Bernardo detta "delle donne" e visita guidata
 A cura di Associazione Art9 con un focus su gli interventi di restauro di Luca Belfrasi e sulla "Madonna della busanotte" di Bernardino Luni in occasione delle mostre del Comune di Milano. Dalle 15.00 alle 17.00 con partenza ogni 30 minuti. Contributo € 5 a persona.

Laboratorio "Modellare che passione"
 Il laboratorio artistico, per bambini e adulti, della durata di 1 ora con inizio alle 14.30, sarà a cura dell'Associazione Art9 e consentirà di sperimentare l'ascolto di una piccola scultura ispirandosi ai capitelli trecenteschi ed alle lastre fittili presenti nell'abbazia di Chiaravalle. Costo 3€ a persona. Per prenotazioni: segreteria19@gmail.com



"Insieme"



Marcia Ecologica nella Valle dei Monaci

11 maggio 2014

"INSIEME" Esperienze di Tecnologie Energetiche Antiche e Future al Servizio della Sostenibilità è un'idea progettuale per il Parco della Vettabbia nella Valle dei Monaci.
 Per informazioni sul progetto: <http://www.cise2007.eu>

Casa Chiaravalle

Immobile sequestrato alla mafia
 Dalle 15.00 alle 18.00 visita a Casa Chiaravalle, immobile sequestrato alla mafia e destinato a finalità sociali. I volontari delle associazioni che gestiscono l'immobile saranno a disposizione per la visita e la richiesta di informazioni.

Cascina Corte San Giacomo

Merenda in cascina
 Dalle 17.30 alle 18.30 sarà possibile fare merenda in cascina. Nell'occasione saranno presentati gli strumenti musicali riprodotti da affreschi raffigurati nella Chiesa, con i quali si terrà un momento musicale.



La Marcia Ecologica nella Valle dei Monaci e gli eventi collegati sono anche occasione per scattare fotografie e partecipare alla seconda fase del concorso che si concluderà il 30 settembre.

Con la collaborazione di



www.cise2007.eu - staffcise@cise2007.eu





Locandina 3° marcia ecologica 11 maggio 2014

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

"Insieme" - Marcia Ecologica nella Valle dei Monaci
11 maggio 2014

Dalle ore 10
presso il depuratore di Nosedo

Programma della mattina

Ore 9:00 - ritrovo presso la Cascine Corte San Giacomo - Ponte Parco Nocerum-antica Giranga, Via San Donigi 77 e iscrizioni alla marcia.
Verrà consegnato ai partecipanti un cartellino identificativo da conservare presso il punto di ritrovo, curato dall'Associazione Borgo di Chiaravalle e allestito presso il prelo antichista l'Abbazia.

Ore 9:30 - partenza della marcia.
Il percorso, di circa 5 km, si svilupperà attraverso il parco della Vettabbia fino a raggiungere il borgo di Chiaravalle e il punto di ristoro, dove avverrà la consegna dei cartellini identificativi. Si riprenderà poi il percorso nel parco fino al laghetto per poi fare ritorno al depuratore di Nosedo, punto di arrivo della marcia.

Ore 11:30 - premiazione dei partecipanti al concorso fotografico "Energie Antiche e Future" - azione sociale e riconoscimenti agli Istituti Scolastici abbinati.

Ore 12:00 - premiazione dei partecipanti alla Marcia Ecologica.

Ore 12:30 - aperitivo per tutti.

La marcia ecologica prevede il servizio di ambulanza e l'assicurazione per i partecipanti.

Si invitano tutti i partecipanti alla marcia ecologica e agli eventi della giornata a scattare fotografie da presentare entro il 30 settembre, per la seconda fase del concorso.

Via San'Araldo

La Marcia, libera e aperta a tutti, si svolgerà con qualsiasi condizione meteo

Locandina 3° marcia ecologica 11 maggio 2014

Insieme a CISE 2007, ASA collabora a diffondere presso le scuole partecipanti al progetto Insieme, la documentazione informativa di progetto predisposta per la marcia ecologica dell'11 maggio 2014, durante la quale si terrà la premiazione del Concorso Fotografico.



Immagini della 3° marcia ecologica del 11 maggio 2014

Al di fuori del Parco:

- Nocetum ha presentato il Progetto “Insieme” durante la conferenza stampa tenutasi all’Urban Center di Milano a Novembre 2012, indicando che la Valle dei Monaci sarebbe stata il luogo in cui si sarebbe sviluppato il progetto ed esponendone le azioni.
- Il 15 Febbraio 2013, nell’ambito della BIT – Borsa Internazionale del Turismo – durante la conferenza “Turismo e sostenibilità energetica propulsori di turismo sostenibile” Nocetum, nel presentare il progetto Valle dei Monaci, ha dato opportuno rilievo al progetto descrivendone finalità, fasi e azioni in via di realizzazione.
- Conferenza di presentazione dei risultati delle prime indagini archeologiche, delle ricerche in corso e del loro possibile sviluppo che hanno coinvolto la Chiesetta dei Santi Filippo e Giacomo presso Nocetum, 7 Maggio 2013.



Pellegrinaggio di giugno 2013



Pellegrinaggio di giugno 2013



Pellegrinaggio di settembre 2013

6. PIANO DEGLI EVENTI CONTINUATIVI NEL PARCO DELLA VETTABBIA

Il successo avuto dagli eventi didattici suggerisce la strutturazione degli stessi per gli anni successivi. Sulla base del successo riscontrato, saranno replicati anche i concorsi con le scuole, oltre al convegno annuale.

Il prototipo di cella a combustibile microbica incorporata in un'aiuola galleggiante sulla Vettabbia che sarà realizzata nella restante parte del progetto in prossimità dell'abbazia di Chiaravalle, sarà propedeutico alla realizzazione di uno specifico manufatto per EXPO 2015. La continuazione del progetto potrebbe essere centrata sulla preparazione degli eventi e di prodotti per EXPO 2015, in considerazione del fatto che il Parco della Vettabbia sarà una delle sedi ufficiali espositive della manifestazione.

6.1 Trasferibilità del Progetto Insieme nel territorio bresciano: Il Parco Adamello

Nell'ambito dell'azione 'redazione di un piano di eventi continuativi' (fase 6), l'Università Cattolica del Sacro Cuore si è concentrata nello sviluppo di un'idea di replicabilità del progetto 'Insieme' presso il Parco dell'Adamello.

La collaborazione precisa e puntuale fra gli Enti coinvolti, il lavoro di squadra, l'originalità ed attualità dei temi proposti nei tre percorsi didattici (cfr. supra), la notevole preparazione sia scientifica sia pedagogica nel condurre le lezioni da parte dei docenti, l'adeguatezza di apparecchiature, strumentazioni, esperimenti adottati a supporto dell'attività didattica, l'area geografica in cui si sono svolte le uscite didattiche, ricca di significato sociale e culturale oltre che paesaggistico, contribuiscono sicuramente a fare del Progetto Insieme un esempio privilegiato degno di essere riproposto senza particolari difficoltà in più realtà territoriali diverse da quella Milanese. Un progetto educativo oggi richiede infatti quale caratteristica strategica principale la flessibilità della progettualità, poiché consente di adeguarne la progettazione alle esigenze espresse dalla committenza, agli imprevisti che talvolta possono verificarsi in fase di attuazione dello stesso, e perfino, come nel caso di specie, di rimodulare alcune fasi o aspetti al fine di meglio adattarlo alla realtà in cui andrà ad inserirsi. La strutturazione in fasi del Progetto Insieme, nonché gli obiettivi e i temi approcciati per un'educazione ambientale, si rivelano una matrice base quasi universale applicabile da qualsiasi altra città industriale, ovviamente con gli opportuni adeguamenti al contesto culturale e paesaggistico di riferimento, che voglia attuare dei percorsi di educazione ambientale volti alla sostenibilità, accompagnando gli alunni dei propri Istituti Scolastici a conoscere, a pochi passi dalla metropoli, la bellezza e ricchezza della Natura e di quanto essa ci può offrire.

Per quanto concerne la città di Brescia, la possibilità di replicabilità del Progetto Insieme può essere situata all'interno del Parco dell'Adamello¹, al centro della catena alpina, nelle Alpi Retiche, e comprendente tutto il versante lombardo con un'estensione di 51.000 ettari (510KM²).

Cime, creste, valli, il ghiacciaio più vasto d'Italia (circa 18 km² di superficie), fanno del Parco Adamello un luogo altamente suggestivo e dal notevole fascino paesaggistico – naturale che è possibile ammirare compiendo escursioni a piedi per i sentieri attrezzati all'interno dell'area protetta.

Per quanto concerne l'impegno verso l'impulso di una cultura della sostenibilità e la promozione di iniziative di educazione ambientale, il Parco Adamello è attivo sin dalla sua costituzione, incentivando azioni di sostegno e sensibilizzazione ad un corretto rapporto con la natura e le sue componenti, e questo intento è rinvenibile anche nei progetti attivati e nelle iniziative dedicate ai turisti grazie al coinvolgimento non solo degli operatori del Parco ma anche dei cittadini, degli agricoltori del luogo, delle guardie forestali ed ecologiche, etc.

Nella filosofia del Parco si ritiene che vivere un'esperienza didattica a diretto contatto con la natura rappresenti sicuramente un'occasione interessante e notevolmente emozionante, che positivamente potrebbe incidere sull'apprendimento di alcune tematiche.

Tali premesse rappresentano una base di notevole rilevanza per poter ipotizzare di replicare il progetto di Educazione ambientale Insieme per le scuole, considerate le esperienze già attive nel Parco stesso e la sua adesione al Sistema Parchi, una rete finalizzata a promuovere la conoscenza delle aree protette che in Lombardia si trovano in una continuità territoriale, uniti e non divisi da confini netti.

L'ipotesi di replicare un progetto di educazione ambientale volto alla sostenibilità all'interno di un'area Parco viene poi ulteriormente avvalorata dalla mission stessa dei Parchi di tutelare e conservare i propri ambienti naturali, promuovere lo sviluppo di attività economiche compatibili con l'ambiente, coordinare e gestirne la fruizione ricreativa e sviluppare l'informazione e la didattica ambientale.

Si fa pertanto necessaria una progettualità pedagogica accurata che, attraverso una serie di fasi opportunamente coordinate, guidi nell'elaborazione del progetto per renderlo adeguato al contesto, efficace ed educativo.

¹ 36 Cfr. <http://www.parcoadamello.it/>.

A. Tartarelli² ritiene che tale progettazione pedagogico – didattica debba prendere avvio dall'ideazione del progetto, momento in cui, individuato l'obiettivo finale che si intende raggiungere, il progettista inizia un percorso di indagine durante il quale, previa un'analisi del contesto e delle risorse disponibili, si interroga sulle modalità, le procedure, la metodologia, le possibili variabili da tenere in opportuna considerazione, etc. per il buon esito dell'impresa. Quanto analizzato viene racchiuso in quello che si definisce problema formativo, cuore pulsante del progetto, che può essere rappresentato dal valore culturale che si intende trasmettere, della promozione di comportamenti o cambiamenti nei soggetti coinvolti, dalla sensibilizzazione verso alcune particolari problematiche. Conseguentemente al problema formativo si possono definire gli obiettivi formativi che si intendono raggiungere e che guideranno così l'articolazione del progetto.

La seconda fase di elaborazione di un progetto consiste nella pianificazione operativa delle attività: le interazioni e il coordinamento delle diverse risorse coinvolte, la fattibilità e calendarizzazione delle varie attività, i materiali e le metodologie didattiche impiegati, gli spazi dedicati necessari, i possibili effetti, la previsione dei costi, la considerazione di eventuali modifiche e i punti di forza o debolezza da potenziare.

Un elemento da non sottovalutare ma, anzi, da considerare attentamente durante tutto il percorso di elaborazione e svolgimento del progetto è il fattore culturale da diversi punti di vista: è necessaria una adeguata preparazione culturale dei docenti per poter trasmettere concetti nel modo più chiaro ed esaustivo possibile; una opportuna e preliminare preparazione culturale degli alunni ad opera degli insegnanti durante le ore curricolari per evitare incomprensioni o sensi di smarrimento nell'approcciare le tematiche presentate nei percorsi didattici; è imprescindibile una preparazione culturale ad opera dei pedagogisti che elaborano il progetto ed i percorsi didattici, per cui la conoscenza della materia non può essere di secondario rilievo; ed infine, ma non per ordine di importanza, una consapevolezza del patrimonio culturale appartenente al contesto di riferimento in cui l'azione educativa si va ad inserire.

All'attuazione vera e propria del progetto segue poi l'ultima fase, di valutazione dei risultati della formazione, rilevabili dal grado di soddisfazione e apprendimento, dalla partecipazione, l'entusiasmo e la replicabilità nei contesti quotidiani di quanto appreso.

² Cfr. A. TARTARELLI, *A scuola di progettazione*, in P. CATTANEO, E. MAROTTA, A. TARTARELLI, *La progettazione formativa nella scuola. Guida all'elaborazione, gestione, valutazione di progetti. Strumenti di lavoro e spunti operativi*, La Tecnica della scuola, Catania, 2004, pp. 23-38.

6.1.1 Matrice di replicabilità

Alla luce di quanto esposto, la matrice di progettazione per la replicabilità del Progetto Insieme all'interno del parco Adamello potrà prevedere la seguente strutturazione:

TITOLO:

Insieme – esperienze di tecnologie energetiche al servizio della Sostenibilità presso l' Area Parco Adamello.

AREA DI INTERESSE:

Parco dell'Adamello e in particolare l'associazione Casa del Parco a Vezza D'Oglio.

OBIETTIVI:

Realizzazione di percorsi didattici tematici con sperimentazioni pratiche sulle materie delle energie e delle risorse rinnovabili presenti nel territorio, sulla comprensione delle buone pratiche per il risparmio energetico e la salvaguardia dell'ambiente in una prospettiva di sostenibilità, e sulla stimolazione dell'interesse verso un uso creativo e positivo dell'energia elettronica, al fine di promuovere comportamenti consapevoli e rispettosi verso l'ambiente.

FIGURE COINVOLTE:

Il coinvolgimento di esperti del settore e di Istituti scientifici ed Universitari consentirà, oltre al supporto di coordinamento organizzativo del progetto, la realizzazione pratica di apparecchiature e prototipi necessari alla sperimentazione durante le visite didattiche; L'Associazione Casa del Parco; Gli enti pubblici comunali di Brescia; Le istituzioni Scolastiche.

DESTINATARI:

Alunni di Istituti Scolastici di ogni ordine e grado della provincia di Brescia

RISULTATI ATTESI:

Attraverso la partecipazione di giovani studenti alle visite didattiche organizzate presso il Parco, il progetto si ripropone, previo un approccio preliminare teorico, di trasmettere le nozioni basilari su energie ed elettricità e vederle applicate alla realtà economico-produttiva del Parco Adamello e delle Comunità montane, di stimolare capacità logico-deduttive, di implementare nuove conoscenze, di sviluppare capacità di analisi e problem solving e, soprattutto, di promuovere una cultura di rispetto per l'ambiente che ci circonda e la consapevolezza del privilegiato ruolo dell'uomo nel custodirlo e tutelarlo.

ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO:

1. Analisi del territorio: e delle risorse disponibili: la fase preliminare del progetto richiede che venga eseguito un attento sopralluogo e studio del Parco Adamello per individuarne caratteristiche e specificità utili alla realizzazione delle visite didattiche.
2. Studio di fattibilità: redazione di uno studio di fattibilità che confermi la possibilità di attuare alcune specifiche attività e della possibilità di allestire le infrastrutture necessarie;

3. Progettazione del percorso didattico – educativo sulla sostenibilità: in questa fase i Partner coinvolti, opportunamente coordinati, iniziano ad ipotizzare i percorsi didattici, le aree tematiche, le metodologie e le strumentazioni di supporto;
4. Campagna informativa per la promozione dell'iniziativa: previa presentazione ed approvazione delle Istituzioni (comune e Provveditorato agli Studi) verranno contattati tutti gli Istituti scolastici territoriali per comunicare l'iniziativa educativa;
5. Realizzazione dei prototipi necessari a fini didattici e allestimento area didattica

DURATA DEL PROGETTO:

Il progetto necessita di una durata annuale. Nei mesi invernali durante i quali è decisamente poco consigliabile lo svolgimento delle visite guidate, si predisporrà l'organizzazione dell'iter progettuale nelle diverse fasi, con la realizzazione dei prototipi e l'avvio della comunicazione agli Enti ed Istituti scolastici interessati. I periodi tardo primaverili - estivi riguarderanno l'avvio delle uscite didattiche giornaliere presso il Parco una volta allestita opportunamente l'Area.

AREE TEMATICHE AFFRONTATE DAL PROGETTO:

Energie rinnovabili e risparmio energetico: in questa area tematica il Progetto si ripropone di far conoscere le differenti tipologie di energie e di indagarne l'impatto sull'ambiente e, nello specifico, i possibili effetti nell'area Parco Adamello. A differenza dell'area Nocetum, non verrà allestita un'apposita serra, ma l'analisi avverrà visitando la struttura didattica stessa della Casa del Parco, costruita con parametri eco-sostenibili.

L'azione dei batteri per la produzione di energia e acqua pulita: si cercherà di far capire come l'energia può essere prodotta anche da microbi, e valutare al microscopio la differenza fra le diverse tipologie di risorse acquifere: rubinetto, torrente e acqua ferma del laghetto del Parco.

L'elettronica ri-creativa e monitoraggio ambientale: l'uomo può monitorare l'ambiente se in possesso di dispositivi elettronici in grado di rilevare variazioni climatiche.

Progettare e creare dispositivi elettronici in grado di captare simili dati può rappresentare un'ulteriore occasione per rafforzare il rapporto uomo-natura e prevedere eventuali calamità.

METODOLOGIA DIDATTICA:

Le giornate didattiche prevedranno un primo momento di spiegazione teorica, durante la quale gli alunni saranno comunque sollecitati dalle domande dei docenti, ed una seconda parte più attiva in cui verranno effettuati esperimenti, esercitazioni pratiche e la visita del Parco.

STRUMENTI DI SUPPORTO ALLA DIDATTICA:

Slides Power Point e poster esplicativi per la parte teorico-introductiva.

Per gli esperimenti invece saranno previsti fogli e pennarelli colorati, computer, microscopi ottici, lampade e giochi di luce, prototipi di pannelli fotovoltaici, celle a combustibile microbiche, sonde per il monitoraggio ambientale, vari materiali di uso quotidiano.

SISTEMA DI VERIFICA:

Il sistema di verifica previsto dal progetto sarà prettamente qualitativo e riguarderà il grado di soddisfazione espresso da alunni e insegnanti per l'offerta didattica proposta e l'attinenza ai temi trattati. Una sorta di valutazione ex-post potrebbe essere il rimando all'ente Parco di feedback da parte degli Istituti scolastici di quanto i fanciulli abbiano dimostrato di apprendere dall'esperienza vissuta e se eventualmente si sono rivelati dei comportamenti sostenibili nella vita di tutti i giorni.

BUDGET:

Un simile progetto, coinvolgendo diverse realtà e richiedendo un'opera attiva non solo di progettazione ma anche di allestimento dell'area didattica prevede una stima di possibili costi articolata per attività:

Direzione scientifica, Coordinamento progettuale e organizzativo del progetto (docenti, tutor, responsabili di progetto, operatori, etc.) - 50.000€

Analisi di fattibilità ed eventuali interventi di risanamento o messa in sicurezza (personale appositamente qualificato, attuazione interventi, etc.) -150.000€

Allestimento area didattica all'interno del Parco Adamello (Predisposizione infrastrutture, attrezzature, progettazione architettonico - paesaggistica per gli interventi didattici nel Parco, etc.) – 180.000€

Attività di diffusione dell'iniziativa a scuole, con il patrocinio delle Istituzioni Locali e Regionali – 40.000€

Totale Budget: 420.000€ per i quali è possibile prevedere eventuali finanziamenti sia pubblici che privati.

7. CONCLUSIONI

Non è facile riassumere in poche righe il lavoro svolto durante questi due anni, nei quali sono stati coinvolti una decina di gruppi di lavoro molto diversi tra loro e più di una trentina di persone. Ogni gruppo ha lavorato con dedizione sui propri temi ma tenendo sempre presente che l'obiettivo era quello di lavorare 'insieme' su un territorio molto, molto trascurato. Ogni contributo è stato un tassello importante del grande rompicapo che si è andato poco a poco a conformare. E oggi, la presente relazione è il contenitore di questo lavoro certosino portato avanti con pazienza, costanza, sobrietà e determinazione.

Tutti 'insieme' abbiamo provato che la progettazione condivisa e partecipativa è possibile, che diverse realtà come l'associazionismo, la scuola, l'università, l'imprenditoria, l'amministrazione, la società civile, i principali sostenitori tra cui la Fondazione Cariplo che dal primo momento ha avuto

SISTEMA DI VERIFICA:

Il sistema di verifica previsto dal progetto sarà prettamente qualitativo e riguarderà il grado di soddisfazione espresso da alunni e insegnanti per l'offerta didattica proposta e l'attinenza ai temi trattati. Una sorta di valutazione ex-post potrebbe essere il rimando all'ente Parco di feedback da parte degli Istituti scolastici di quanto i fanciulli abbiano dimostrato di apprendere dall'esperienza vissuta e se eventualmente si sono rivelati dei comportamenti sostenibili nella vita di tutti i giorni.

BUDGET:

Un simile progetto, coinvolgendo diverse realtà e richiedendo un'opera attiva non solo di progettazione ma anche di allestimento dell'area didattica prevede una stima di possibili costi articolata per attività:

Direzione scientifica, Coordinamento progettuale e organizzativo del progetto (docenti, tutor, responsabili di progetto, operatori, etc.) - 50.000€

Analisi di fattibilità ed eventuali interventi di risanamento o messa in sicurezza (personale appositamente qualificato, attuazione interventi, etc.) -150.000€

Allestimento area didattica all'interno del Parco Adamello (Predisposizione infrastrutture, attrezzature, progettazione architettonico - paesaggistica per gli interventi didattici nel Parco, etc.) – 180.000€

Attività di diffusione dell'iniziativa a scuole, con il patrocinio delle Istituzioni Locali e Regionali – 40.000€

Totale Budget: 420.000€ per i quali è possibile prevedere eventuali finanziamenti sia pubblici che privati.

7. CONCLUSIONI

Non è facile riassumere in poche righe il lavoro svolto durante questi due anni, nei quali sono stati coinvolti una decina di gruppi di lavoro molto diversi tra loro e più di una trentina di persone. Ogni gruppo ha lavorato con dedizione sui propri temi ma tenendo sempre presente che l'obiettivo era quello di lavorare 'insieme' su un territorio molto, molto trascurato. Ogni contributo è stato un tassello importante del grande rompicapo che si è andato poco a poco a conformare. E oggi, la presente relazione è il contenitore di questo lavoro certosino portato avanti con pazienza, costanza, sobrietà e determinazione.

Tutti 'insieme' abbiamo provato che la progettazione condivisa e partecipativa è possibile, che diverse realtà come l'associazionismo, la scuola, l'università, l'imprenditoria, l'amministrazione, la società civile, i principali sostenitori tra cui la Fondazione Cariplo che dal primo momento ha avuto

fiducia nella proposta, possono lavorare 'insieme' se guidati da un'obiettivo comune e su un territorio preciso e a contatto con la realtà e con le persone che lo vivono.

Il Progetto 'Insieme' ha dimostrato ancora una volta l'enorme potenzialità di un territorio come quello di pertinenza della Roggia Vettabbia, un triangolo immaginario tra l'Abbazia di Chiaravalle, il Depuratore di Nosedo e la fine di via Omero-Corte San Giacomo (Associazione Nocetum). Col passare del tempo questo triangolo sta diventando sempre più concreto e vissuto, fra qualche mese, a seguito dell'inaugurazione della Expo Universale, i lavori sul Parco della Vettabbia saranno conclusi. Con quell'inaugurazione si spalancheranno definitivamente i cancelli di un territorio da decenni escluso dalla vita sociale, culturale, artistica della città di Milano. Un centinaio di ettari di verde agricolo periurbano entreranno in città e per osmosi si contamineranno anche altre aree, sarà attivato un pezzo del Parco Agricolo Sud Milano alle porte di Milano.

Il Progetto 'Insieme' ci ha insegnato a tutti che un futuro sostenibile è possibile. Ci ha insegnato che utilizziamo solo in minima parte dell'energia a disposizione, ci ha insegnato che dobbiamo conoscere bene le potenzialità energetiche, antiche e future, che ci circondano. Ci ha insegnato che i più piccoli esseri viventi, tra cui i batteri, lavorano 'insieme' e possono trasformare la materia organica dissolta nell'acque fognarie in energia elettrica. Ci ha dimostrato che i rifiuti organici da casa possono essere trasformati in metano e che le piante possono pulire le acque. Il Progetto 'Insieme' ci ha insegnato che non è vero che i giovani e i bambini non siano interessati a queste tematiche e che alcuni di loro chiederanno quest'anno a Babbo Natale un microscopio; ci ha insegnato anche che le foto più belle sono state scattate da persone molto giovani e che questo è un buon segnale.

Non resta che chiudere questo lavoro con un sincero ringraziamento a tutte le persone che con passione e dedizione hanno dedicato il proprio tempo e intelligenza a portarlo a conclusione.

8. BIBLIOGRAFIA

Bibliografia relativa al paragrafo 1.1 e 1.2

il testo è frutto per la maggior parte di ricerche ed interviste sul campo raccolte direttamente tra i soggetti presenti e tra chi, da anni, si occupa del territorio in oggetto. Non sono però da trascurare alcuni volumi da cui sono state tratte e rielaborate alcune informazioni:

“Le cascine di Milano verso e oltre EXPO2015”, (2009)

“Valle dei monaci, Un territorio con origini antiche torna a vivere per Milano” (2012)

Bibliografia relativa al capitolo celle a combustibile microbiche 2.1

P. Cristiani. *Elettricità dai rifiuti. Microbi elettro-attivi consentono di ottenere energia e acqua pulita.* Le Scienze Maggio 2014. Roma, Italy.

Pierangela Cristiani, Michela Tribuzio (RSE), Edoardo Guerrini (Università degli Studi di Milano), Alessandro Liberale, Alessandro Lazzarini (Università di Pavia), Isabella Porqueddu, Glauco Menin (Politecnico di Milano). *Caratterizzazione di celle a combustibile microbiche applicate in campo ad acque con diverso carico di inquinante organico (COD) ai fini del risparmio energetico dei servizi, con particolare riferimento ai reflui municipali.* Rapporto n. 14001880 del 28/02/2014. Progetto C1 – Risparmio di energia elettrica nei settori civile industria e servizi. Linea di attività 2 - Studio, ricerca e verifica sperimentale di tecnologie efficienti.

P. Cristiani, M.L. Carvalho, E. Guerrini, M. Daglio; C. Santoro, B. Li, *Cathodic and anodic biofilms in single chamber microbial fuel cells.* *Bioelectrochemistry.* 92 (2013) 6–13.
4th European Fuel Cell Conference and Exhibition, Rome, 14-16 December (Italy).

T. Truppi. “Sviluppo di un biosensore per il monitoraggio del BOD in acque reflue urbane” tirocinio universitario del corso di Laurea in Chimica e Tecnologie Chimiche, Università degli Studi di Milano-Bicocca.

C. Santoro, Y. Lei, B. Li, P. Cristiani. *Power generation from wastewater using single chamber microbial fuel cells (MFCs) with platinum free cathodes and pre-colonized anodes,* *Biochemical Engineering Journal* 62 (2012) 8-16.

Bibliografia relativa al paragrafo 2.2

Angelidaki I. (2002) “Anaerobic biodegradability of macropollutants”, *Proceedings of the Workshop on Harmonisation of Anaerobic Biodegradation, Activity and Inhibition Assays,* Lago d’Orta, Italy, June 7-8, 2002, 13-29.

Batstone D.J., Keller J.; Angelidaki I., Kalyuzhnyi S.V., Pavlostathis S.G., Rozzi A., Sanders W.T.M.,

Bolzonella D., Pavan P., Cecchi F. (2008) “Le tecniche di digestione anaerobica” in *Biogas da rifiuti solidi urbani.* Dario Flaccovio editore.

Caffaz S., Bettazzi E., Scaglione D. and Lubello C.. *An integrated approach in a municipal WWTP: anaerobic codigestion of sludge with organic waste and nutrient removal from supernatant* (2008) *Water Science & Technology* Vol 58 No 3 pp 669–676

Ficara E., Scaglione D., Caffaz S., (2011) *Test di laboratorio per valutare la producibilità di biogas,* in “*Biogas da agro-zootecnia e agro-industria*”. Dario Flaccovio Editore.

Gujer W., Zehnder A.J.B (1983) "Conversion Processes in anaerobic digestion", Water Science Technologies 15 127-167.

Henze M., Harremoes P., Jansen J.L.C., Arvin E. (1995) "Wastewater Treatment: biological and chemical processes – Second Edition", Springer, Berlin.

Malpei F. e Gardoni D. (2008) "La digestione anaerobica: i principi del processo e i criteri di dimensionamento" in Biogas da rifiuti solidi urbani. Dario Flaccovio editore.

Mata-Alvarez J. & Macè S. (2004) Anaerobic bioprocess concepts. In: Resource Recovery and Reuse in Organic Solid Waste Management. Eds. Lens et al., IWA Publishing.

Scaglione D. e Caffaz S. (2009) Biogas da codigestione anaerobica. Sperimentazione a scala laboratorio e pilota. Inquinamento. Giugno 2009. Fiera Milano Editore

Scaglione D., Caffaz S., Ficara E., Malpei F. and Lubello C.. A simple method to evaluate the short-term biogas yield in anaerobic codigestion of WAS and organic wastes (2008) Water Science & Technology Vol 58 No 8 pp 1615–1622.

Scaglione D. Insabato G.e Malpei F. (2014) Aspetti tecnici e normativi sull'utilizzo di sottoprodotti in impianti biogas. La Fabbrica della Bioenergia. ISBN 978-88-97962-23-6.

Siegrist H., Vavilin V.A.,(2002)"Anaerobis Digestion Model No.1", IWA 13 1-75.

Speece R.E. (1996) "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater", Archae Press, Nashville, Tennessee.

Tiedje J and Zehnder A, (1988) "Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium. In Biology of Anaerobic Microorganisms".

Bibliografia relativa al paragrafo 2.3

APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e del Territorio), IRSA-CNR (Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche), "Metodi analitici per le acque". Manuali e Linee Guida 29/2003.

ARPA Lombardia (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia). Linee guida per lo scarico di acque reflue domestiche sul suolo e negli strati superficiali del sottosuolo, per carichi organici < 50 a.e, Doc lo SI 02 rev 0, Arpa Sede Centrale.

Bartoli M., Viaroli P., 2006. Zone umide perfluviali: processi biogeochimici, funzioni ecologiche, problemi di gestione e conservazione, Biologia Ambientale, 20, 43-54.

Decreto Legislativo dell'8 novembre 2010 n. 260. Regolamento recante i criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali, per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo del 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del medesimo decreto legislativo. Gazzetta ufficiale n.30 del 7 Febbraio 2011, supplemento ordinario n. 31.

Ferrari R., Spiaggiari P., Garuti G., Romagnoli F., 2002. Manuale di fitodepurazione, Tipografia S.Martino.

ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), 2012. Guida tecnica per la progettazione e la gestione dei sistemi di fitodepurazione per il trattamento delle acque reflue urbane, Manuali e Linee Guida 81/2012, ISPRA, Roma.

Tonolli V., 2001. Introduzione allo studio della limnologia (ecologia e biologia delle acque dolci), Versione elettronica di Bertoni R., del testo originale rivisto da Giussani G., CNR, istituto italiano di idrobiologia.

Vymazal J., 2005. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment, *Ecological Engineering*, 25, 478-490.

Bibliografia relativa al paragrafo 6

<http://www.parcoadamello.it/>.

Legge 6 Dicembre 1991, Legge Quadro sulle Aree Protette.

TARTARELLI, A scuola di progettazione, in P. CATTANEO, E. MAROTTA, A. TARTARELLI, La progettazione formativa nella scuola. Guida all'elaborazione, gestione, valutazione di progetti. Strumenti di lavoro e spunti operativi, La Tecnica della scuola, Catania, 2004, pp. 23-38.