

LIFE16 ENV/IT/000486

Beneficiario coordinatore:

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICEA) dell'Università degli Studi di Firenze (UNIFI) – Via S. Marta 3, 50139, FI

Beneficiari associati:

- Cuiodepur S.p.A.
- Fondazione Utilitatis
- West Systems S.r.l.
- *Department of Mathematical Modelling, Statistics and Bioinformatics (BIOMATH)* dell'Università di Ghent (UGENT)

Sito web di progetto:

www.lesswattproject.eu

E-mail di progetto:

info@lesswattproject.eu

Referente:

Cecilia Caretti

E-mail: cecilia@dicea.unifi.it

Tel.: +39 055 2758850

Durata:

01/10/2017 – 31/03/2021

Budget complessivo:

€ 1.267.708

Contributo EU:

€ 760.624

Area di progetto:

Italia, Belgio, Olanda

Impianti di depurazione per le prove sperimentali:

- Cuiodepur e San Colombano (Toscana)
- Sestri Ponente (Liguria)
- Roma Est (Lazio)
- Eindhoven e Tillburg (Olanda)

LIFE LESSWATT

“Strumento innovativo per valutare e minimizzare i contributi diretti e indiretti della carbon footprint prodotta dalle vasche di ossidazione degli impianti di depurazione”

Il quadro ambientale e la sintesi del progetto

Gli impianti di depurazione delle acque reflue svolgono un ruolo essenziale per garantire il raggiungimento e il mantenimento degli obiettivi di qualità dei corpi idrici superficiali, ma sono anche una fonte di emissioni di gas serra dirette, originate dai processi biologici, e indirette, associate ai consumi energetici dei vari processi di trattamento. A livello globale, si stima che gli impianti di depurazione contribuiscono per circa il 3% alle emissioni totali di gas serra. Il gas maggiormente emesso è l'anidride carbonica (CO₂), la quale è prodotta durante il processo biologico di ossidazione del substrato carbonioso. Ci sono poi le emissioni di protossido di azoto (N₂O) che, negli impianti di depurazione, sono dovute per la maggior parte ai processi di nitrificazione e denitrificazione, per i quali l'N₂O rappresenta un prodotto intermedio. Le emissioni di N₂O, seppur nettamente inferiori rispetto a quelle di CO₂, destano particolare preoccupazione dato il loro elevato potenziale di riscaldamento globale, pari a 298 volte quello della CO₂. Pertanto, nonostante le basse emissioni di N₂O, esse contribuiscono significativamente alla carbon footprint (CF) degli impianti di depurazione, ovvero alle loro emissioni totali espresse in termini di CO₂ equivalenti (CO_{2,eq}). Le emissioni di metano (CH₄), invece, si originano

prevalentemente **nelle condotte fognarie e in quelle sezioni degli impianti di depurazione in cui prevalgono condizioni anaerobiche**. Tuttavia, emissioni non trascurabili di CH₄ possono essere rilevate anche nei comparti ossidativi in presenza di flussi derivanti da sezioni anaerobiche, a causa dello strippaggio favorito dall'aerazione, soprattutto nel caso di sistemi di aerazione di tipo superficiale.



Figura 1: Veduta aerea dell'impianto di depurazione Cuoiodepur (foto: Cuoiodepur S.p.A.)

Per quanto riguarda i **consumi energetici degli impianti di depurazione**, essi aumentano in funzione del carico inquinante in ingresso e sono **in gran parte dovuti ai sistemi di aerazione delle vasche di ossidazione**. Pertanto, l'**aerazione è responsabile di un'ampia fetta delle emissioni indirette**. I **processi aerobici a fanghi attivi** sono la **tecnologia più utilizzata** per il **trattamento delle acque reflue** e, conseguentemente, l'**ottimizzazione del processo di trasferimento dell'ossigeno può ridurre in modo significativo i costi energetici e la CF degli impianti di depurazione**. La capacità di ridurre quest'ultima ha assunto rilevante importanza anche a seguito del fatto che l'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) ha introdotto la "Regolazione della Qualità Tecnica del Servizio Idrico Integrato" per mezzo di una serie di indicatori, tra i quali compare quello relativo all'impronta di carbonio del servizio di depurazione. Appare dunque evidente l'**importanza, per il gestore di un impianto di depurazione, di trovare strumenti affidabili per misurare le prestazioni in termini di efficienza e di emissioni legate alla sezione biologica di trattamento**.



Figura 2: Vasche di ossidazione a fanghi attivi dell'impianto di depurazione Cuoiodepur, con particolare delle tubazioni per l'insufflazione dell'aria nelle vasche (foto: LIFE LESSWATT)

In questo contesto si inserisce il progetto **LIFE LESSWATT** (LIFE16 ENV/IT/000486), cofinanziato dall'Unione Europea, il cui **scopo principale è la realizzazione di uno strumento innovativo per indagare, valutare e minimizzare i contributi diretti e indiretti della CF prodotta dalle vasche di ossidazione degli impianti di depurazione**.

Il **progetto** (i cui sviluppi sono consultabili sul sito [web www.lesswattproject.eu](http://www.lesswattproject.eu)) ha avuto inizio nell'Ottobre 2017 e vede il **coinvolgimento di 5 partner**, ovvero il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICEA) dell'Università degli Studi di Firenze (UNIFI), Cuoiodepur S.p.A., West Systems S.r.l., Fondazione Utilitatis e il *Department of Mathematical Modelling, Statistics and Bioinformatics* (BIOMATH) dell'Università belga di Ghent (UGENT), **ognuno dei quali con specifici compiti ed expertise**.

Il **progetto** trova **applicazione presso l'impianto di depurazione Cuoiodepur** – situato nel comune di San Miniato (PI), in uno dei più importanti distretti conciaci europei – **per la fase di testing dello strumento**

innovativo, e in ulteriori 5 impianti di depurazione, di cui **3 italiani** (S. Colombano in Toscana, Sestri Ponente in Liguria e Roma Est nel Lazio) e **2 nord-europei** (Eindhoven e Tillburg in Olanda), **per valutare la trasferibilità e la versatilità della tecnologia** in contesti diversi.

Gli obiettivi del progetto

L'obiettivo principale del progetto **LIFE LESSWATT** è lo **sviluppo di uno strumento innovativo in grado di monitorare l'efficienza di trasferimento dell'ossigeno del sistema di aerazione di un impianto di depurazione e le emissioni di gas serra dalle sue vasche di ossidazione a fanghi attivi**, che ne rappresentano il cuore.

La **soluzione** proposta **comprende un prototipo (il Lessdrone)** per il **monitoraggio**, in condizioni operative, dell'efficienza di **trasferimento dell'ossigeno** e delle **emissioni dei gas serra**, e un **protocollo in grado di tradurre le informazioni raccolte dallo strumento in azioni volte a minimizzare la CF degli impianti di depurazione e il loro consumo energetico**.

La riduzione dei costi energetici e delle emissioni di gas serra, nel rispetto dei limiti di qualità degli effluenti, migliorerà la sostenibilità ambientale ed economica degli impianti di depurazione, riducendo anche i costi per il servizio agli utenti, sia domestici che industriali.

La funzionalità e la versatilità della tecnologia proposta rappresentano un aspetto cruciale per garantire la sua futura trasferibilità in diversi impianti di depurazione che lavorano in differenti contesti operativi.



Figura 3: Lo strumento innovativo Lessdrone, per la misura dell'efficienza di trasferimento dell'ossigeno e delle emissioni di gas serra nelle vasche di ossidazione (foto: LIFE LESSWATT)

Le azioni progettuali

LIFE LESSWATT è articolato in diverse azioni progettuali, che si caratterizzano come segue.

Azioni preparatorie, che prevedono:

- la **raccolta** di tutte le **informazioni necessarie** alle successive fasi di **progettazione, costruzione e testing** del **prototipo**;
- la **caratterizzazione** degli **impianti di depurazione** presso i quali sono state programmate le campagne di misura all'interno del progetto;
- la **somministrazione** di un **questionario online** a circa 50 **gestori di impianti di depurazione**, italiani ed europei, **per la raccolta di informazioni tecnico-gestionali**.

Azioni di realizzazione del prototipo, che prevedono:

- la **progettazione e la costruzione del prototipo**;



Figura 4: Il Lessdrone in azione in una vasca di ossidazione di un impianto di depurazione (foto: LIFE LESSWATT)

- il **controllo dello strumento in laboratorio**, per la verifica delle funzionalità della strumentazione e dei sensori e per l'effettuazione di prove di galleggiamento e di *test* sui propulsori;
- l'**effettuazione di prove all'interno delle vasche di ossidazione del depuratore Cuioidepur**, per verificare l'affidabilità e la risposta del sistema, sia per la parte di strumentazione dedicata al campionamento che per quella di posizionamento.

Azioni per lo sviluppo della procedura di monitoraggio degli off-gas con il Lessdrone, che prevedono:

- la programmazione e lo **svolgimento di 6 campagne di misura presso il depuratore Cuioidepur**, distribuite durante l'anno in modo da coprire le diverse condizioni ambientali e di carico in ingresso all'impianto. Sono **previste prove "a punti"**, per valutare la distribuzione spaziale dei diversi parametri monitorati all'interno della vasca a parità di condizioni operative, e **prove "stazionarie"**, per valutarne invece la distribuzione temporale al variare delle condizioni operative.

Azioni per lo sviluppo del protocollo per la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di gas serra,

che prevedono:

- la **realizzazione di un modello biocinetico e di un modello idrodinamico dell'impianto di depurazione Cuioidepur**, utili alla **definizione del protocollo applicativo per la gestione dell'aerazione**, ai fini della minimizzazione del consumo di energia e/o delle emissioni dei gas serra.



Figura 5: I luoghi del progetto, presso i quali si trovano gli impianti di depurazione oggetto di studio (immagine: LIFE LESSWATT)

Azioni di applicazione del protocollo negli impianti di depurazione selezionati, che prevedono:

- l'**applicazione del Lessdrone, con protocollo annesso, negli altri 5 impianti di depurazione** in cui il progetto trova applicazione, al fine di valutare la trasferibilità e la versatilità della tecnologia in contesti diversi tra loro.

Azioni di valutazione dell'impatto tecnico, ambientale e socio-economico del progetto, che prevedono:

- la **valutazione tecnica, ambientale e socio-economica del progetto, supportata dalla produzione di un Business plan**, dalla **definizione di indicatori di performance ambientale** a lungo termine e dalla **realizzazione di un Life-Cycle Assessment (LCA) dello strumento** oggetto di studio.

Azioni di disseminazione e networking, che prevedono:

- la **comunicazione e la diffusione degli obiettivi e dei risultati del progetto**;
- la **costruzione di una rete di contatti e di collaborazioni permanenti con altri progetti LIFE**.

Azioni di monitoraggio e gestione del progetto, che prevedono:

- la **gestione del progetto da parte del coordinatore di LIFE LESSWATT**, per assicurare il suo corretto svolgimento nei tempi e con le risorse previste;

- il **monitoraggio** dei **risultati** del **progetto** tramite **indicatori** “interni” e indicatori stabiliti dalla Commissione europea;
- la **realizzazione** dell’**After Life Plan** per garantire il successo del progetto anche dopo la sua fine.

I risultati ad oggi raggiunti dal progetto

Le **azioni preparatorie** hanno **consentito** di **caratterizzare** gli **impianti** di **depurazione** presso i quali sono state **programmate** le **campagne** di **misura** all’interno del progetto. Il primo di essi è stato l’impianto Cuioidepur, nel quale il prototipo è stato testato e ottimizzato. Sono stati poi caratterizzati gli altri 5 impianti di depurazione (3 italiani e 2 nord-europei) in cui il progetto trova applicazione. **Ciò** ha consentito di confrontarsi con caratteristiche impiantistiche e gestionali molto diversificate e **permetterà** di **realizzare** un **protocollo applicabile** a una **vasta gamma** di **tecnologie** e **condizioni operative**, garantendo la trasferibilità della soluzione proposta. **Durante questa fase, al monitoraggio di routine** di ciascun impianto di depurazione, sono state **affiancate** alcune **campagne di monitoraggio intensivo, realizzate in diversi periodi dell’anno** per coprire condizioni ambientali e operative differenti. **Ciò ha permesso** di **avere** un **quadro** esaustivo **sulla caratterizzazione** dei **reflui** in ingresso e in uscita dalle sezioni biologiche, **sulla variabilità spazio-temporale** della **portata d’aria** immessa nelle vasche di ossidazione e dell’ossigeno disciolto presente in esse. **Durante le campagne** sono stati **monitorati** i **consumi energetici** legati alla fase di aerazione e sono stati **analizzati** i **principali gas serra emessi** dalle **vasche** di **ossidazione**. Sono stati **misurati** anche i **parametri cinetici e stechiometrici** delle **biomasse attive** presenti in **vasca**, necessari per la successiva fase modellistica. **Ad integrazione** dei dati derivati dal **monitoraggio** dei suddetti **impianti**, tramite un questionario *online* sono state **raccolte informazioni tecnico-gestionali** su **circa 50 depuratori italiani ed europei di differenti gestori**. La progettazione del *Lessdrone* ha quindi tenuto conto dei dati raccolti per realizzare uno strumento il più versatile possibile rispetto alle diverse tipologie impiantistiche e processistiche attualmente utilizzate negli impianti di depurazione.

Nelle successive azioni, il *Lessdrone* è stato progettato, costruito e ottimizzato. Si tratta di un **dispositivo automatico, wireless** e **in grado di muoversi autonomamente.** È **composto da un telaio di supporto in**

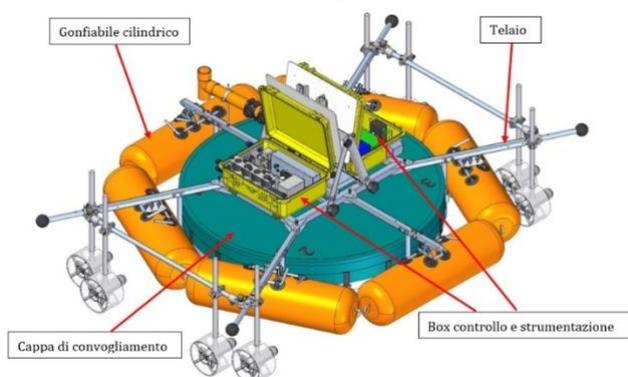


Figura 6: Vista dell’elaborazione 3D del *Lessdrone* (immagine: West Systems S.r.l.)

acciaio, smontabile e ripiegabile, al quale sono ancorati 6 cilindri gonfiabili indipendenti. Al centro è presente una **cappa** con la **funzione di convogliare** gli **off-gas** che **fuoriescono** dalla **superficie** delle **vasche all’interno** di un **tubo di collettamento**. Il diametro del drone è pari a circa 2 m, a cui si deve aggiungere l’ingombro, di circa 1 m, della struttura su cui sono montati i motori. **Sulla parte superiore del**

telaio è presente un **alloggiamento per 2 box** contenenti, rispettivamente, la **strumentazione di analisi e i dispositivi di controllo e posizionamento**. Lo **strumento consente di monitorare l'intera superficie della vasca di aerazione, ridurre la presenza del personale necessario per le misure e monitorare l'efficienza del trasferimento dell'ossigeno e la produzione di gas serra in qualunque fascia oraria**. La **tecnologia proposta prevede l'implementazione di un protocollo basato su modelli che**, integrando i dati del *Lessdrone* con gli *input* esterni e le informazioni sul processo, **identifica le azioni da mettere in atto per garantire la minimizzazione della CF del comparto di aerazione**. Il **prototipo è stato testato in differenti condizioni operative**. I **primi test** sono stati **effettuati in laboratorio** per verificare le funzionalità della strumentazione e dei sensori; **allo stesso tempo** sono state **effettuate prove di galleggiamento e test sui propulsori in una piscina** appositamente allestita **all'esterno del laboratorio**. **Successivamente i test** sono stati **effettuati all'interno delle vasche di ossidazione del depuratore Cuioidepur**, in modo da verificare l'affidabilità e la risposta del sistema, sia per la parte di strumentazione dedicata al campionamento che per quella di posizionamento.

Ad oggi, **per quanto riguarda la parte sperimentale**, sono state **completate tutte quelle azioni che hanno permesso di sviluppare la procedura di monitoraggio degli off-gas mediante il Lessdrone e di assicurare l'operatività dello strumento e l'efficacia e l'accuratezza delle misure**. Lo **strumento rende possibile monitorare l'intera superficie delle vasche di ossidazione consentendo una visione complessiva della distribuzione dei parametri monitorati**.

Le **campagne di misura presso l'impianto di depurazione Cuioidepur sono concluse e hanno permesso di mettere a punto e ottimizzare le modalità e le procedure di svolgimento delle prove**, sia nella parte *hardware* che nella parte *software*. I dati acquisiti risultano coerenti con le condizioni di processo dell'impianto e hanno consentito di approfondirne la conoscenza. Inoltre, la bontà delle risposte emerse dai confronti con i dati rilevati dai sensori presenti sull'impianto e dalle analisi di laboratorio eseguite sui campioni prelevati ha **dimostrato che il Lessdrone è in grado di misurare e stimare in maniera corretta i parametri di interesse**.

Riassumendo, **l'analisi delle prove "a punti"** ha evidenziato i seguenti **risultati**:

- la portata d'aria immessa nelle vasche è maggiore nella parte iniziale, dove entra il liquame da trattare, e va a diminuire via via che ci si sposta verso la fine delle vasche, in accordo con la distribuzione dei diffusori sul fondo delle vasche;
- l'efficienza di trasferimento dell'ossigeno (variabile tra il 26 e il 34%) è maggiore nella vasca in cui sono presenti diffusori più nuovi rispetto all'altra, coerentemente col fatto che sono stati meno soggetti a sporcamento;



Figura 7: Sollevamento del *Lessdrone* per la sua collocazione in una vasca di ossidazione
(foto: LIFE LESSWATT)

- le emissioni di N₂O (≈ 600 kgCO_{2,eq}/d) e di CH₄ (200 kgCO_{2,eq}/d) risultano piuttosto basse, e contribuiscono solo per il 4% alle emissioni totali del comparto di ossidazione, mentre il restante 96% è attribuibile alle emissioni di CO₂ (19.500 kgCO₂/d).

L'analisi delle prove "stazionarie", invece, ha mostrato i seguenti risultati:

- l'andamento giornaliero dei carichi inquinanti in ingresso, per lo più di origine industriale, varia in funzione della produttività delle aziende, e quindi in funzione del giorno della settimana. Durante i giorni lavorativi, il carico tende ad aumentare nell'arco della giornata, viceversa nel *weekend*, e in particolare di domenica, il carico progressivamente si riduce;
- la portata d'aria immessa nelle vasche segue l'andamento dei reflui industriali in ingresso all'impianto: maggiori sono i carichi, maggiore è la portata d'aria da fornire;
- all'aumentare della portata d'aria, si riduce l'efficienza di trasferimento dell'ossigeno nel liquame nelle vasche.



Figura 8: Svolgimento di una prova presso l'impianto di depurazione Cuioidepur (foto: LIFE LESSWATT)

Da luglio sono iniziate le campagne di misura sugli altri impianti di depurazione selezionati.

Attraverso l'utilizzo dello strumento innovativo sviluppato da LIFE LESSWATT sarà possibile identificare le condizioni di processo (portata d'aria, ossigeno disciolto, età del fango) in grado ridurre le emissioni di gas serra dirette e indirette. Conseguentemente a una possibile diminuzione della portata d'aria da insufflare, ne trarrebbero beneficio anche le prestazioni del sistema di aerazione, che vedrebbe aumentare la sua efficienza di trasferimento dell'ossigeno. Il monitoraggio dell'efficienza di trasferimento dell'ossigeno permetterà anche di ottimizzare le modalità e la frequenza di intervento per la pulizia e/o la sostituzione dei diffusori.

Parallelamente all'attività sperimentale, sono stati realizzati un modello biocinetico e un modello idrodinamico del depuratore Cuioidepur, per simulare il suo funzionamento attuale e analizzare diversi scenari di gestione. L'applicazione modellistica rappresenterà, infatti, assieme ai risultati emersi dalle

precedenti azioni, la spina dorsale del protocollo applicativo nel processo decisionale per la corretta gestione dell'aerazione dell'impianto di depurazione, ai fini della minimizzazione del consumo di energia e/o delle emissioni dei gas serra. Di particolare rilevanza è stata anche l'inclusione, all'interno del progetto, di una valutazione del rischio di produzione di N₂O, sulla base dei risultati

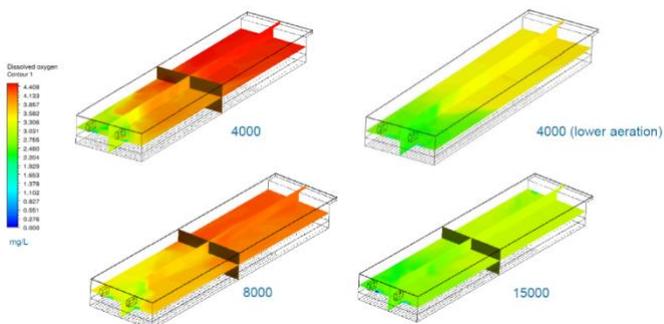


Figura 9: Esempio di output del modello idrodinamico di una vasca di ossidazione del depuratore Cuioidepur (immagine: UGENT)

sperimentali supportati dalla **modellistica**.

Per quanto riguarda le **azioni di valutazione** dell'**impatto** tecnico, ambientale e socio-economico del progetto, sono stati **raccolti i dati necessari** per l'analisi **LCA** e per la **valutazione dell'impatto socio-economico** dei risultati del progetto. La **messa a punto del Business plan** permetterà di **determinare** le migliori **strategie** per la futura **commercializzazione dell'output del progetto (Lessdrone e protocollo)** e del servizio di consulenza legato al suo funzionamento e all'interpretazione dei risultati ottenuti.

La disseminazione del progetto e le attività di networking

Il progetto **LIFE LESSWATT** è stato **promosso attraverso 5 comunicati stampa**. Ad oggi, sono state effettuate **7 visite didattiche presso l'impianto di depurazione Cuioidepur**, e sono state organizzate la **conferenza di lancio del progetto** e un primo **workshop**. Sono state inoltre realizzate **1.500 brochure** in lingua italiana e inglese e un **sito web di progetto**, che viene **aggiornato con news** settimanalmente e dal quale è possibile scaricare tutte le **informazioni legate a LIFE LESSWATT**.

Nell'ambito dell'attività di disseminazione sono state prodotte **4 newsletter**, nonché **1 notice board**. La rassegna stampa sul progetto conta ad oggi **articoli su 7 diverse riviste a carattere divulgativo e 1 pubblicazione scientifica** sulla rivista "Ingegneria dell'Ambiente".

I **partner del progetto** hanno **partecipato a numerosi convegni** in cui è stata svolta l'attività di promozione dello stesso. I **primi risultati delle attività sperimentali con il Lessdrone** sono stati **presentati alla Fiera ECOMONDO 2019** di Rimini.

Sono stati accettati contributi per presentazioni orali ai seguenti convegni (posticipati al 2021 a causa dell'emergenza sanitaria "Covid-19"): WWCE 2020 - Copenhagen, ECOSTP - Milano, SIDISA - Torino, 13th IWA Conference - Vienna.

Sono state **intraprese azioni di networking** dai vari **partner del progetto, a seconda dello specifico campo di lavoro**: UNIFI e UGENT nell'ambito istituzionale e scientifico, West Systems S.r.l. nell'ambito commerciale e del monitoraggio ambientale, Cuioidepur S.p.A. nell'ambito della depurazione delle acque, in particolare del settore conciario, e Fondazione Utilitatis nell'ambito del settore idrico integrato.

Sono stati, altresì, **firmati 5 accordi di collaborazione permanente con progetti LIFE** italiani e stranieri **riguardanti tematiche affini** a quelle di LIFE LESSWATT; nello specifico con:

- **LIFE RE Mida** – *"Innovative Methods for Residual Landfill Gas Emissions Mitigation in Mediterranean Regions"* (LIFE14 CCM/IT/000464);
- **LIFE BITMAPS** – *"Pilot technology for aerobic Biodegradation of spent TMAH Photoresist solution in Semiconductor industries"* (LIFE15 ENV/IT/000332);
- **LIFE DeNTreat** – *"Decentralized innovative treatment of ammonium-rich urban wastewater"* (LIFE16 ENVT/IT/000345);

- **LIFE WEEE** – “Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE): treasures to recover!” (LIFE16 GIE/IT/000645);
- **LIFE MCUBO** – “Modelling, Measurement and Improvement of the water management environmental impact in the food industry” (LIFE15 ENV/ES/000379).

Infine, sono stati attivati contatti con il mondo accademico e della ricerca, con le istituzioni, con il settore pubblico e privato della depurazione e con i produttori di tecnologie per il monitoraggio ambientale, per garantire un confronto costante sulle strategie da portare avanti per la minimizzazione dei consumi energetici e della CF degli impianti di depurazione.



Figura 10: In alto, a sinistra, la conferenza di lancio del progetto, a destra, la brochure; in basso, a sinistra, la copertina della rivista “Ingegneria dell’Ambiente”, a destra, la notice board (immagine: LIFE LESSWATT)