

ANALISI LCA A SUPPORTO DI UN PROGETTO DI ADEGUAMENTO DI UN IMPIANTO DI DEPURAZIONE

Pantini Sara^{1*}, Bellan Martina¹, Rigamonti Lucia¹

¹ Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Milano

Sommario – L'adozione della metodologia Life Cycle Assessment (LCA) nella valutazione di progetti di realizzazione di nuove opere o di modifica di opere esistenti può essere uno strumento di supporto alle decisioni utile nell'orientare scelte progettuali o di investimento. In questo studio è stato preso in esame un progetto di adeguamento e potenziamento di un impianto di depurazione con processo convenzionale a fanghi attivi. Il progetto di base, che costituisce il sistema di riferimento ai fini dell'LCA, è stato formulato tenendo conto dei requisiti minimi da soddisfare in termini di abitanti equivalenti serviti e carico organico trattato, che consentono di adeguare il servizio di raccolta e trattamento a quanto previsto dalla normativa di settore. È stata valutata, attraverso una LCA di tipo comparativo, la differenza degli impatti ambientali tra il progetto di base e un progetto migliorativo; ai fini della valutazione sono stati inclusi i soli interventi/modifiche/opere del progetto migliorativo proposto che si differenziano rispetto al progetto di base, escludendo le parti in comune e considerando le sole fasi di costruzione delle opere (utilizzo di materiali e trasporti) e di vita utile dell'impianto in seguito all'adeguamento (consumi energetici, rifiuti prodotti ed emissioni in ambiente). Il progetto proposto prevede una serie di interventi relativi ad aspetti impiantistici, tecnologici e strutturali volti a ottimizzare le prestazioni dell'impianto, che hanno implicazioni anche sotto il profilo energetico e ambientale. I miglioramenti previsti sono stati analizzati singolarmente e questo ha consentito di individuare quelli che maggiormente contribuiscono alla riduzione dell'impatto ambientale complessivo del progetto considerando l'intero periodo di operatività dell'impianto. L'analisi ha confermato la sostanziale riduzione degli impatti ambientali grazie alle migliori introdotte, prodotta in particolare dagli interventi sul comparto biologico che comportano una riduzione dei quantitativi di fango prodotti e smaltiti, dagli interventi di ottimizzazione della linea biogas con l'inserimento della cogenerazione e dalla riduzione dei consumi elettrici totali dell'impianto.

Parole chiave: LCA comparativa, impianto di depurazione, acque reflue, fanghi, upgrading dell'impianto.

LCA AS A SUPPORT TOOL IN THE REVAMPING PROJECT FOR A WASTEWATER TREATMENT PLANT

Abstract – The LCA methodology can represent a useful tool to support decision making and to steer investments in wastewater treatment sector. This

study focuses on a revamping project of a wastewater treatment plant (WWTP), based on minimum requirements that must be fulfilled in terms of population equivalent and organic load to be treated. The analyzed WWTP is a conventional activated sludge wastewater treatment plant. Through this revamping project, which represents the *baseline scenario* in the LCA context, the performances of the plant and the characteristics of the treated water discharged into surface waters will fulfill the normative requirements. This LCA study compares the aforementioned project against a novel project, that provides some technical upgrades concerning the primary treatment and the oxidative biological processes, the energy recovery system, and the plant infrastructures. The upgraded WWTP system of the novel project involves relevant implications in terms of reduction of material and energy consumption and expected environmental impacts. Each technical upgrade has been analyzed individually to identify which is the most effective in reducing the overall environmental impacts. Specifically, the environmental implications of WWTP upgrades have been quantified through six analyses:

- Upgrade #1: 22% reduction in the annual volume of sewage sludge to be landfilled is expected in the novel project by improving the oxidative biological process and the sludge treatment units.
- Upgrade #2: a net reduction of 14.5% in the total energy requirement of the upgraded WWTP is achieved in the novel project compared to the baseline scenario. Specifically, energy savings are obtained by implementing a cogeneration unit in the biogas utilization line and an innovative aeration system in the biological compartment as well as by upgrading the sludge treatment units. Conversely, the upgrades in the primary treatment process, in the biofilter units, and in the biogas line lead to additional energy requirements.
- Upgrade #3: optimization of the biogas treatment and utilization processes by upgrading the desulfurization process and by implementing the cogeneration system. The installation of the biological gas scrubber for H₂S removal allows to avoid the consumption of ferrous chloride that is, in the baseline scenario, directly injected into the digesters. Moreover, the upgraded gas utilization system involving the cogeneration unit allows to produce both electricity and heat that can be entirely utilized to satisfy plant energy requirements, while the surplus electricity is directly fed into the national grid (avoided product). Conversely, in the baseline scenario the biogas is sent to the heating unit and the surplus (69.4% of biogas flow) is burnt off in a flare unit. On the other hand, the optimization of the biogas line involves the installation of new technological systems (scrubber, feeding pumps,

* Via Golgi 39, 20133, Milano, E-mail: sara.pantini@polimi.it; Telefono: 02-23994227.

generator, etc.); so, the additional energy and material requirements for their construction and operation have been included in the analysis.

- Upgrade #4: 3.6% reduction in the consumption of polyacrylamide for sewage sludge dewatering due to the lower production of sewage sludge compared to the baseline scenario.
- Upgrade #5: optimization of plant infrastructures reducing the concrete usage compared to the baseline scenario. Indeed, the novel project implies the use of a special glass-lined steel instead of conventional concrete for building the anaerobic digesters of the sludge line. Hence, the novel project implies the supply of 183 tonnes of glass-lined steel, imported from Germany, while avoiding the production and transportation of 1,693 m³ of Portland cement and 296 tonnes of reinforcing steel bars from local suppliers.
- Upgrade #6: optimization of the plant layout including the use of building materials with longer life expectancy. According to the novel project, the renovation involves a reduction in the unalloyed steel for piping and for carpentry and in the galvanized steel due to new plant configuration and the substitution of unalloyed steel pipes with stainless steel pipes; on the other hand, large amounts of stainless steel are required in the novel project.

The analysis shows that the upgrades in the novel project lead to a substantial reduction of all the environmental impacts. The most relevant environmental benefits are achieved in particular through the reduced sewage sludge production and disposal, the optimization of biogas utilization line with the introduction of a cogeneration system and the reduction of total electricity consumption.

Keywords: comparative LCA, wastewater treatment plant, wastewater, sewage sludge, plant upgrading.

Ricevuto il 22-6-2020. Modifiche sostanziali richieste il 29-10-2020. Accettazione il 23-12-2020.

1. INTRODUZIONE

In Italia, lo sviluppo dei servizi di raccolta e trattamento delle acque reflue non ha seguito lo sviluppo dell'espansione delle aree urbane, producendo dei consistenti rischi ambientali in alcune aree del Paese (ISTAT, 2017).

La necessità di adeguamento alla normativa nazionale ed europea, sollecitato anche dall'avvio di procedure di infrazione europee, ha portato a investimenti e interventi che hanno aumentato la copertura del servizio di collettamento e la capacità di trattamento delle acque reflue.

A garanzia della tutela ambientale, la normativa prevede che i progetti di realizzazione di nuovi impianti di depurazione o di modifica di impianti esistenti siano sottoposti alla procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) (art. 6 e allegato III, D.Lgs 152/2006 e s.m.i.).

A integrazione di quanto previsto dalla normativa di settore e per un miglior supporto alle decisioni, soprattutto nella fase di valutazione delle alternative, è stato suggerito (Tukker, 2000) di adottare un ulteriore strumento di valutazione: la metodologia Life Cycle Assessment (LCA). Questa metodologia consente di stimare quantitativamente i potenziali impatti ambientali dell'opera adottando un approccio di analisi dell'intero ciclo di vita.

Rispetto alla VIA, che si concentra sulla fase di realizzazione (Tukker, 2000) e utilizzo dell'opera oggetto di studio, la metodologia LCA prevede la stima degli impatti lungo l'intero ciclo di vita, includendo l'analisi di fasi altrimenti trascurate. Con l'approccio LCA è possibile, inoltre, valutare quantitativamente anche impatti su scala globale o che si verificano lontano dal luogo di realizzazione dell'opera.

Nello studio qui presentato viene analizzato un progetto di adeguamento e potenziamento di un impianto di depurazione di acque reflue civili a servizio di un'area urbana di grandi dimensioni (>500.000 abitanti in base a criteri ISTAT, 2017). L'intervento, insieme all'entrata in esercizio di nuove opere di collettamento fognario, consentirà di trattare l'intera portata di reflui generati nell'area urbana servita (204.000 m³/giorno) e di rispettare i limiti normativi per lo scarico in acque superficiali. La metodologia LCA è stata utilizzata per mettere a confronto il progetto definitivo, già approvato e valutato positivamente attraverso la procedura di VIA, e alcune migliorie tecniche che potrebbero essere accolte nel progetto esecutivo dell'opera.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dell'analisi LCA

L'impianto di depurazione oggetto di studio deve essere modificato per aumentarne efficienza e capacità di trattamento. L'autorità competente ha definito il progetto definitivo di adeguamento e potenziamento dell'impianto e ha pubblicato una gara d'appalto per la stesura del progetto esecutivo e la realizzazione dell'opera.

Una delle proposte presentate prevede la realizzazione di interventi migliorativi rispetto ai requisiti del progetto definitivo (di seguito chiamato "base gara"). Gli interventi contenuti nel progetto proposto sono volti a ottimizzare diversi aspetti impiantistici, tecnologici e costruttivi con implicazioni anche sotto il profilo energetico e ambientale, in vir-

tù della riduzione dei consumi energetici dell'impianto, dei materiali da costruzione o dei materiali ausiliari impiegati. Per verificare l'effettivo vantaggio ambientale derivante dal progetto proposto (di seguito chiamato "progetto con migliorie"), è stato svolto uno studio LCA comparativo, che ha messo a confronto il progetto base gara e il progetto con migliorie in relazione ai seguenti aspetti, analizzati singolarmente e caratterizzanti gli interventi proposti: riduzione dei fanghi prodotti, riduzione dei consumi energetici dell'impianto, ottimizzazione della linea biogas, riduzione del consumo di polielettrolita, risparmio di calcestruzzo, ottimizzazione dell'impiego dei materiali costruttivi.

Le prestazioni ambientali associate agli interventi e opere proposte sono state quantificate seguendo i principi e le linee guida definiti dalle norme ISO di riferimento: ISO 14040:2006 Life Cycle Assessment: Principi e quadro di riferimento e ISO 14044:2018 Life Cycle Assessment: Requisiti e linee guida. Per l'analisi si è fatto uso del software di LCA "SimaPro 8.4.0" e del database ecoinvent v.3.3, 2016. Per la valutazione degli impatti sono stati impiegati due metodi di caratterizzazione: metodo ILCD 2011 MidPoint+, v.1.10, 2016 (Commissione Europea – JRC, 2011) e metodo CED v.1.09, 2014 (Cumulative Energy Demand) (Frischknecht et al., 2007). Il primo è utilizzato per la quantificazione degli impatti sull'ambiente e sulla salute umana; sono state considerate tutte le 16 categorie di impatto incluse, ponendo particolare attenzione sul riscaldamento globale e sul consumo di risorse minerali e fossili in quanto ritenuti di particolare attenzione per il decisore pubblico. Il metodo CED consente di quantificare il consumo, diretto e indiretto, di risorse energetiche.

Vista la possibilità fornita da una LCA comparativa di escludere dall'analisi ciò che si mantiene uguale nei diversi scenari, l'LCA è stata impostata in modo da quantificare i cambiamenti nei potenziali impatti indotti dalle migliorie tecniche rispetto al progetto base di gara, anziché effettuare una LCA dell'intero impianto. Di conseguenza, per ciascuna miglioria analizzata, è stata adottata un'opportuna unità funzionale di modo da poter valutare tali impatti in riferimento a un giorno tipo di operatività dell'impianto per trattare 204.000 m³ di refluo. Al fine di fornire un quadro complessivo delle migliorie proposte, i risultati sono inoltre presentati anche in forma aggregata considerando 30 anni di operatività dell'impianto. Si sottolinea che i risultati che verranno mostrati per ciascuna delle

migliorie non si intendono messi a confronto tra loro per individuare quale sia l'intervento ottimale, bensì vogliono fornire indicazioni delle implicazioni ambientali ed energetiche delle scelte progettuali contenute nella proposta migliorativa rispetto al base gara, dando evidenza degli interventi più efficaci. Lo scopo finale è infatti quello di mostrare come possono variare gli impatti ambientali su scala giornaliera derivanti dal funzionamento dell'impianto, per una operatività pari a 30 anni, nella configurazione prevista nel progetto con migliorie rispetto al base gara, di modo da fornire ai soggetti pubblici coinvolti nella fase valutativa dei progetti in sede di gara elementi utili a comprendere i potenziali vantaggi ambientali raggiungibili attraverso il progetto migliorativo proposto.

Il contesto geografico di riferimento è quello del Sud Italia in cui è localizzato l'impianto di depurazione oggetto dell'intervento di adeguamento. I dati di input utilizzati nell'analisi sono rappresentativi delle tecnologie attualmente disponibili per il trattamento di depurazione delle acque reflue e delle condizioni di funzionamento previste da progetto; per il sistema di *foreground* sono stati utilizzati principalmente i dati progettuali contenuti nel progetto con migliorie e nel base gara, integrati con dati di letteratura per i processi di *background*, laddove possibile rappresentativi del contesto geografico e temporale di riferimento (periodo 2016-2017).

Per contestualizzare le migliorie che saranno analizzate in questo lavoro, viene fornita una breve descrizione della configurazione dell'impianto, come prevista nel progetto base gara. I reflui in ingresso, dopo i pretrattamenti di grigliatura e dissabbiatura, sono inviati all'unità di sedimentazione primaria e successivamente sono sottoposti a un processo biologico a fanghi attivi. La successiva disinfezione del refluo chiarificato con raggi ultravioletti consente di ridurre la carica batterica entro i limiti di legge per lo scarico. Parte dell'acqua depurata viene riutilizzata in impianto (per uso tecnologico, lavaggi e irrigazione); per l'idoneità all'utilizzo, questa viene ulteriormente affinata con ultrafiltrazione. I fanghi biologici sono sottoposti a digestione anaerobica, a cui segue un ispessimento e una disidratazione attraverso separatori centrifughi. I fanghi sono infine accumulati in silos in attesa del ritiro per lo smaltimento in discarica. Il biogas prodotto viene impiegato come combustibile per il funzionamento di due caldaie che forniscono il calore necessario al funzionamento dei digestori anaerobici. Il gas eccedente l'utilizzo interno viene bruciato in torcia.

2.2. Inventario dell'analisi LCA

Tramite la metodologia LCA sono stati quantificati gli effetti sull'ambiente associati ai seguenti aspetti, analizzati singolarmente e caratterizzanti gli interventi proposti: riduzione del quantitativo di fanghi prodotti giornalmente grazie agli interventi sul comparto biologico e sui digestori (Miglioria 1 "Riduzione fanghi"), riduzione del consumo energetico medio dell'impianto mediante interventi di efficientamento della linea acque e della linea fanghi (Miglioria 2 "Riduzione consumi energetici"), ottimizzazione della linea di trattamento e utilizzazione energetica del biogas (Miglioria 3 "Miglioramento linea biogas"), riduzione dell'utilizzo di reagenti chimici grazie all'upgrading del processo di trattamento (Miglioria 4 "Riduzione consumo polielettrolita"), ottimizzazione delle strutture con conseguente minor consumo di calcestruzzo (Miglioria 5 "Risparmio calcestruzzo") e dell'impiego dei materiali costruttivi (Miglioria 6 "Analisi prestazioni materiali") attraverso una ri-progettazione della configurazione impiantistica e strutturale.

2.2.1. Miglioria 1 "Riduzione fanghi"

Le soluzioni migliorative proposte consentono di ottenere, rispetto al progetto base gara, la riduzione del quantitativo di fanghi prodotti dall'impianto. L'unità funzionale in questa analisi è rappresentata dal quantitativo giornaliero di fango (tal quale) prodotto dall'impianto di depurazione e smaltito in discarica. La composizione media del fango è mostrata in Tabella 1; tale composizione è stata desunta dalla letteratura esistente (Domínguez et al., 2008; Kanchanapiya et al., 2006; Magdziarz et al., 2014). L'impatto associato all'unità funzionale risulta dato dalla somma degli impatti del trasporto del fango e del suo smaltimento in discarica.

La modellizzazione del trasporto del fango dall'impianto di depurazione alla discarica è stata effettuata considerando camion di taglia 16-32 t e una percorrenza media stradale di 22 km; si è assunto che il viaggio di andata avvenga a pieno carico mentre quello di ritorno in impianto è con mezzo vuoto. Per la scelta della tipologia e classe di veicoli, si è fatto riferimento ai dati pubblicati da ACI per il 2016 da cui risulta, per l'area geografica di riferimento, la seguente composizione del parco veicoli: 89,3% EURO 3 o classi inferiori, 2,3% EURO 4, 7,0% EURO 5 e 1,4% EURO 6. Gli impatti associati allo smaltimento in discarica sono stati calcolati a partire dalla composizione dei fanghi mostrata in Tabella 1, applicando il model-

Tabella 1 – Composizione media dei fanghi

Componenti principali	% sulla sostanza secca (pari al 19,5%)	Componenti principali	% sulla sostanza secca (pari al 19,5%)
C	32%	S	1%
H*	4%	P	3%
O*	19%	Componente minerale	34%
N	4%		
Componenti in tracce	mg/kg	Componenti in tracce	mg/kg
Al	1800	I	30
As	0,5	K	325
B	5	Mg	580
Ba	40	Mn	70
Be	0,1	Mo	1
Br	20	Na	120
Ca	3200	Ni	35
Cd	0,1	Pb	15
Cl	190	Se	0,2
Co	5	Sb	1
Cr	80	Sn	5
Cu	100	Tl	0,1
F	90	V	1
Hg	0,1	Zn	260

* Ad esclusione dell'idrogeno/ossigeno legato all'acqua.

lo di Doka (2009); le emissioni di CO, CO₂ e CH₄ sono state considerate di origine biogenica. Ciò che differenzia la Miglioria 1 dallo scenario base è il quantitativo di fanghi prodotti; questo risulta essere pari a 157 m³/d nello scenario base (corrispondenti a circa 171 t/d) e 122 m³/d (corrispondenti a circa 133 t/d) nella nuova configurazione. Si precisa che la realizzazione degli interventi migliorativi che consentono di ottenere la riduzione del quantitativo giornaliero di fanghi prodotti dall'impianto comporta un maggior consumo energetico del comparto biologico, di cui si è tenuto conto nell'ambito della Miglioria 2, e anche un diverso consumo dei materiali costruttivi e delle tubazioni, la cui valutazione è inclusa nell'ambito rispettivamente delle Migliorie 5 e 6.

2.2.2. Miglioria 2 "Riduzione consumi energetici"

Rispetto alla configurazione del progetto base gara, è stata prevista l'implementazione di un sistema di cogenerazione e l'ottimizzazione di diverse unità e tecnologie di trattamento; la nuova configurazione consente di ottenere una riduzione dei consumi energetici complessivi dell'impianto.

Tabella 2 – Consumi di elettricità (kWh d⁻¹) dell'impianto di depurazione specificati per ciascuna sezione di trattamento; sono dettagliati a parte i consumi relativi alla linea di trattamento e utilizzazione del biogas

IMPIANTO DI DEPURAZIONE		
	BASE GARA	PROGETTO CON MIGLIORIE
	[kWh d ⁻¹]	[kWh d ⁻¹]
Pre-trattamenti (grigliatura, sollevamento, dissabbiatura)	5.392	5.392
Sedimentazione primaria	913	1.307
Predenitrificazione (agitazione e ricircolo)	4.706	559
Ossidazione (compressori)	21.600	18.695
Sedimentazione secondaria	2.969	2.969
Disinfezione UV + ultrafiltrazione (per riuso interno)	1.280	1.280
Pretrattamento e digestione anaerobica fanghi (*)	4.584	3.878
Disidratazione fango (incluso stoccaggio e deodorazione)	3.358	3.358
Deodorizzazione	755	1.326
Servizi generali	1.200	1.200
TOTALE IMPIANTO	46.757	39.964
LINEA BIOGAS		
	BASE GARA	PROGETTO CON MIGLIORIE
	[kWh d ⁻¹]	[kWh d ⁻¹]
Caricamento cloruro ferrico	1,9	0
Dosaggio cloruro ferrico	6,4	0
Desolfatore biologico	0	112,2
Desolfatore biologico deumidificatore	0	438,6
Soffiante a canale laterale per biogas	96	96
Soffiante membrana gasometro	93,6	93,6
Caldaia e bruciatore riscaldamento acqua	67,2	50,4
Soffiante alimento torcia	0	448,8
Motore di cogenerazione	0	0
Motore di cogenerazione (solo predisposizione)	0	0
Torcia di combustione biogas in eccesso	3,6	3,6
Estrattore d'aria ventilazione locale soffianti biogas	24	24
Estrattore d'aria ventilazione locali centrale termica	24	24
TOTALE LINEA BIOGAS	316,7	1.291,2
TOTALE IMPIANTO ECCETTO LINEA BIOGAS	46.441	38.673

(*) Include i consumi della linea biogas.

La Tabella 2 mette a confronto i consumi di elettricità complessivi dell'impianto di depurazione, nel progetto base gara e in quello con migliorie, con specifica indicazione dei singoli interventi che comportano un consumo aggiuntivo o un risparmio effettivo di energia elettrica. Complessivamente, le migliorie previste nel progetto presentato consentono una riduzione del 14,5% dei consumi medi giornalieri di energia elettrica (39.964 kWh/d invece di 46.757 kWh/d). Nello specifico, il maggior risparmio si ottiene attraverso la sostituzione del sistema di aerazione delle vasche di ossidazione e del sistema di agitazione e ricircolo (consumo totale di 19.254 kWh/d nel progetto con

migliorie invece che 26.306 kWh/d del base gara); i consumi di elettricità della sedimentazione primaria e della linea biogas risultano invece maggiori in seguito agli interventi proposti.

Per quantificare i vantaggi ambientali derivanti dalla riduzione del consumo di energia elettrica, si sono valutati i potenziali impatti derivanti dalla produzione del quantitativo medio giornaliero di energia elettrica richiesta per il funzionamento dell'impianto di depurazione. Tale valore, per il base gara e per il progetto con migliorie, è stato calcolato a partire dalla Tabella 2 escludendo i consumi associati alla linea di trattamento e utilizzazione energetica del biogas, in quanto consi-

derati nell'ambito della Miglioria 3: i valori risultanti pari a 46.441 kWh/d nel base gara e a 38.673 kWh/d nel progetto con migliorie sono stati considerati per l'analisi di tale miglioria. Si sottolinea che l'insieme di interventi di ottimizzazione che portano alla riduzione complessiva dei consumi giornalieri dell'impianto di depurazione determina: *i*) da un lato maggiori consumi energetici, per il funzionamento delle nuove unità di trattamento e delle opere elettromeccaniche previste nel progetto con migliorie, come il sedimentatore primario, a fronte di un risparmio energetico dovuto all'implementazione di tecnologie più efficienti, come il sistema di areazione delle vasche (si vedano le singole voci di consumo in Tabella 2). Si precisa che l'immissione in rete di energia elettrica prodotta grazie alla cogenerazione, è stata omessa per evitare di conteggiarne due volte i benefici, in quanto l'ottimizzazione della linea biogas con impianto di cogenerazione è stata analizzata nell'ambito della Miglioria 3; considerazioni analoghe valgono per i consumi energetici aggiuntivi dovuti al funzionamento delle unità previste nella linea biogas ottimizzata, come il desolforatore e la soffiante, inclusi nelle valutazioni della Miglioria 3; *ii*) maggiori consumi di materiali per la realizzazione dell'impianto di cogenerazione e delle tubazioni di collegamento, considerati nel computo in Tabella 3 e valutati nell'ambito della Miglioria 3.

2.2.3. Miglioria 3 "Miglioramento linea biogas"

La linea di trattamento e valorizzazione del biogas può essere migliorata, rispetto al progetto base gara, mediante interventi sul sistema di desolforazione e di recupero energetico del biogas, come previsto dalla Miglioria 3.

Lo scenario del progetto base gara prevede che il biogas sia inviato a un sistema di due caldaie e che il calore prodotto sia utilizzato per riscaldare i digestori, mentre il biogas in eccedenza sia bruciato in torcia (circa il 65% del biogas prodotto, Tabella 3). La desolforazione del biogas, prima della combustione in caldaia, è effettuata aggiungendo cloruro ferrico direttamente nei serbatoi dei digestori.

Lo scenario di progetto con la Miglioria 3 prevede un utilizzo più efficiente del biogas prodotto e la riduzione del consumo di prodotti chimici attraverso la sostituzione della desolforazione chimica con una desolforazione biologica. L'installazione di un sistema di cogenerazione alimentato dal biogas consente di produrre energia termica ed elettrica, con le efficienze mostrate in Tabella 3. L'energia termica

(1.432 kW_{th}/giorno) è interamente utilizzata per soddisfare i fabbisogni interni dell'impianto. L'energia elettrica, una volta soddisfatti i fabbisogni interni, è immessa nella rete nazionale, andandone a sostituire una pari quantità prodotta convenzionalmente (1.501 kW_{el}/giorno), che nello studio LCA è valutato come prodotto evitato. La desolforazione biologica avviene in una torre di lavaggio cui segue l'unità di deumidificazione del biogas prima del recupero energetico. Questa configurazione impiantistica comporta consumi di materiali ed energia sia per la realizzazione di unità aggiuntive (torre di lavaggio, deumidificatore, pompe di alimentazione) sia per il loro funzionamento, ma consente di evitare l'utilizzo di cloruro ferrico (FeCl₃) per la desolforazione e di sfruttare più efficientemente il biogas prodotto a fini energetici.

L'inventario per questa analisi LCA è stato costruito con i dati primari del progetto base gara e del progetto con migliorie (con due scenari a breve e medio termine, di seguito illustrati) e riportati nella Tabella 3.

Si è presa a riferimento la produzione media giornaliera di biogas in impianto, pari a 26.174 m_n³/d nel base gara e 29.618 m_n³/d nel progetto proposto; i processi inclusi comprendono il trattamento di desolforazione e deumidificazione del biogas e il successivo recupero energetico (potere calorifico biogas 5.500 kcal/m_n³). Nel progetto base gara il pretrattamento del biogas avviene mediante aggiunta diretta del cloruro ferrico nei digestori utilizzando una soluzione concentrata al 40% e un dosaggio specifico di 20 kgFeCl₃/tSS; assumendo una portata di fango in ingresso ai digestori, espressa su base secca, di 63,05 tSS/d si ricava il dosaggio giornaliero pari a 1.261 kgFeCl₃/d. Sulla base del fabbisogno termico dell'impianto è stata calcolata la portata di biogas inviata alla caldaia (come rapporto tra fabbisogno e potere calorifico del biogas) e, per differenza, l'eccedenza bruciata in torcia. I consumi associati alle soffianti per biogas e agli estrattori d'aria sono stati trascurati in quanto risultano gli stessi sia per il base gara che per il progetto proposto. I fattori di emissione in atmosfera della caldaia e della torcia considerati nell'analisi sono quelli indicati nel database ecoinvent 3.3 avendo però avuto l'accortezza di considerare le emissioni di CO, CO₂ e CH₄ di origine biogenica invece che fossile (lo stesso vale per il sistema di cogenerazione nello scenario rappresentativo del progetto con migliorie) e senza variarle quantitativamente.

Nel progetto con migliorie, il trattamento di desolforazione e deumidificazione del biogas avvie-

Tabella 3 – Confronto del sistema di trattamento e utilizzazione energetica del biogas previsto nel base gara e nel progetto con migliori, nel breve e lungo termine

Parametro	Unità di misura	BASE GARA	MIGLIORIA 3 – BREVE TERMINE	MIGLIORIA 3 – LUNGO TERMINE
PORTATA BIOGAS	$m_n^3 d^{-1}$	26.174	29.618	29.618
Fabbisogno termico dell'impianto	kW	2.243	2.243	2.243
Biogas inviato a caldaie	%	34,93%	11,16%	0%
Biogas inviato a cogeneratore	%	0%	44,80%	89,59%
Biogas inviato a torcia	%	65,07%	44,04%	10,41%
DESOLFORATORE+ DEUMIDIFICATORE		Chimico ($FeCl_3$)	Biologico	Biologico
Consumo $FeCl_3$	kg d^{-1}	1.261	0	0
Consumo fertilizzante	kg d^{-1}	0	7,9	7,9
Consumo elettricità	kWh d^{-1}	8,3	551 ^(a)	551 ^(a)
– di cui elettricità per desolfatore	kWh d^{-1}	n.a.	112,2	112,2
– di cui elettricità per deumidificatore	kWh d^{-1}	n.a.	438,6	438,6
Consumo polipropilene	kg	0	8.500	8.500
Consumo acciaio inox	kg	0	1.200	1.200
CALDAIA	#unità operative	2 unità	1 unità	0 unità
Biogas ingresso	$m_n^3 d^{-1}$	9.143	3.306	0
Efficienza termica	–	0,92	0,92	0
Calore prodotto	$kW_{th} d^{-1}$	2.243	811	0
Consumo elettricità	kWh d^{-1}	67,2	50,4	0
COGENERATORE	#unità operative	0 unità	1 unità	2 unità
Biogas ingresso	$m_n^3 d^{-1}$	–	13.268	26.535
Efficienza elettrica	–	–	0,424	0,424
Efficienza termica	–	–	0,405	0,405
En. elettrica prodotta	$kW_{el} d^{-1}$	–	1.501	3.002
En. termica prodotta	$kW_{th} d^{-1}$	–	1.432	2.864
TORCIA	#unità operative	1 unità	1 unità	1 unità
Biogas ingresso	$m_n^3 d^{-1}$	17.031	13.044	3.083
Consumo elettricità	kWh d^{-1}	3,6	452,4 ^(b)	452,4 ^(b)
TUBAZIONI	linea biogas			
Acciaio inox 18/8	kg	11.434	9.217	9.217
Vita utile	anni	30	30	30

(a) Consumo elettrico totale desolfatore + deumidificatore (b) consumo elettrico torcia e soffiante di alimentazione.

ne in unità dedicate: la torre di desolfurazione ad acqua e aria pressurizzata e, a seguire, un deumidificatore. Si specifica che per il funzionamento del desolfatore si prevede di utilizzare l'acqua della vasca di stoccaggio proveniente dal trattamento di ultrafiltrazione; poiché i volumi di acqua stoccati nell'impianto sono ampiamente superiori rispetto al fabbisogno del desolfatore biologico (0,42 m^3/h), si assume un ciclo chiuso dell'acqua e quindi un consumo idrico netto nullo per tale unità. Riguardo il sistema di valorizzazione energetica del biogas, sono stati considerati due scenari: uno scenario a breve termine, che può essere realizzato nell'immediato, e uno scenario a lun-

go termine, che potrà essere realizzato successivamente, quando l'impianto di depurazione raggiungerà le condizioni a regime previste da progetto. Nello scenario a breve termine viene installata una sola unità di cogenerazione per la produzione di energia elettrica e termica, integrata da una sola delle due caldaie già presenti in impianto, a cui si prevede di far ricorso prevalentemente nei mesi invernali quando il calore del cogeneratore non è sufficiente a soddisfare il fabbisogno termico dei digestori, e dalla torcia. Nello scenario a lungo termine si prevede di installare un secondo cogeneratore di analoga potenza ed efficienza del primo. I due cogeneratori sono in gra-

do di soddisfare l'intero fabbisogno termico dell'impianto. Non si prevede di far più ricorso alle due caldaie e la percentuale di biogas in eccesso e bruciato in torcia si riduce al 10,4%.

In entrambi gli scenari della Miglioria 3 si assume che l'energia elettrica prodotta dalla cogenerazione del biogas vada a evitare la produzione di una quantità uguale di elettricità, prendendo a riferimento il mix di produzione di elettricità (ad alta tensione) proprio del contesto italiano.

Nell'analisi si considerano anche i consumi dei materiali per la realizzazione delle diverse unità che compongono il sistema con migliorie, non previste nel progetto base gara (desolforatore in polipropilene, deumidificatore in acciaio inox, cogeneratore). Infine, in tutti gli scenari analizzati si tiene conto anche dell'acciaio inox impiegato per le tubazioni a servizio della linea biogas e dei consumi di elettricità di ciascuna unità, mostrati in Tabella 3.

2.2.4. Miglioria 4 "Riduzione consumo polielettrolita"

La minore produzione attesa di fango in seguito agli interventi migliorativi proposti (Miglioria 1 "Riduzione fanghi") comporta una riduzione del quantitativo di polielettrolita (un copolimero cationico di acrilammide) consumato per la disidratazione dei fanghi stessi. Questo aspetto è stato valutato nella Miglioria 4. Assumendo il medesimo dosaggio specifico di polielettrolita pari a 7 g/kgSST, a seguito degli interventi proposti che riducono la portata massica di fanghi da disidratare, il consumo di polielettrolita si riduce del 3,6% rispetto al quantitativo necessario nello scenario base gara.

Per quantificare i vantaggi ambientali associati alla riduzione del consumo di polielettrolita, si sono valutati i potenziali impatti associati alla produzione del quantitativo medio giornaliero di polielettrolita consumato nei due scenari analizzati: esso risulta pari a 291,2 kg/d nel progetto a base gara e 280,8 kg/d a seguito degli interventi proposti. Per la modellizzazione della produzione del polielettrolita si è scelto il processo di ecoinvent 3.3 che descrive la produzione di poli(acrilammide).

2.2.5. Miglioria 5 "Risparmio calcestruzzo"

Questa miglioria prevede la realizzazione dei tre digestori anaerobici con acciaio speciale porcellanato invece del più tradizionale calcestruzzo armato previsto nel base gara.

Nell'analisi sono stati valutati i potenziali impatti associati alla produzione del quantitativo totale di

materiali necessari per la costruzione dei tre digestori, a parità di vita utile dell'opera e prestazioni dei materiali presi in esame.

Nel base gara, la tipologia di calcestruzzo (CLS) impiegato per le elevazioni dei serbatoi è ad alta resistenza (Rck 40) con contenuto minimo di cemento Portland II/A di 340 kg/m³; le armature sono barre in acciaio al carbonio ad aderenza migliorata. Per il calcolo del quantitativo dell'acciaio di armatura è stata considerata un'incidenza delle barre di 175 kg/m³_{CLS}. Per la modellizzazione del calcestruzzo strutturale impiegato nel base gara è stato utilizzato il processo di ecoinvent 3.3 rappresentativo della produzione di calcestruzzo a livello mondiale, in quanto caratterizzato da un contenuto di cemento Portland di 344 kg/m³, in linea con il valore indicato da progetto. Per tener conto del fatto che diverse tipologie di calcestruzzo possono avere impatti differenti, è stata condotta un'analisi di sensitività considerando un processo rappresentativo della produzione di calcestruzzo ad alta prestazione (contenuto di cemento 290 kg/m³), relativa al contesto svizzero. Per la modellizzazione della produzione delle armature in acciaio è stato impiegato un processo costruito ad hoc comprendente due processi di ecoinvent: uno rappresentativo della produzione dell'acciaio al carbonio e uno per la lavorazione di laminazione. I quantitativi totali di calcestruzzo (per entrambe le tipologie incluse nell'analisi di sensitività) e di acciaio di armatura impiegati per ogni digestore sono indicati in Tabella 4.

Nella proposta progettuale si prevede di realizzare le pareti e la copertura dei serbatoi con lastre di acciaio porcellanato, di diverso spessore. Si tratta di acciaio al carbonio prodotto e importato dalla Germania, sottoposto a un processo di vetrificazione per ottenere un rivestimento in smalto di spessore tra 180 e 360 micron sulla superficie della lastra. Il processo di produzione di 1 tonnellata di tale acciaio è stato simulato mediante un processo costruito ad hoc contenente tre sotto-processi di ecoinvent: il processo di produzione di 1 tonnellata di acciaio al carbonio, il processo di produzione di 1 tonnellata di lastre di acciaio mediante laminazione e il trattamento di smaltatura delle lastre. È stato inoltre considerato il trasporto su gomma dell'acciaio porcellanato, dalla Germania all'impianto di depurazione, per una distanza pari a circa 2.200 km. Il quantitativo totale di acciaio porcellanato impiegato per ogni digestore è indicato in Tabella 4.

Un'ulteriore analisi ha riguardato la possibilità di realizzare i digestori con acciaio inox invece che

Tabella 4 – Confronto dei materiali impiegati per la realizzazione di un digestore nel base gara e nel progetto proposto (Miglioria 5), al variare della tipologia di calcestruzzo (CLS 50 e CLS 35) e della tipologia di acciaio delle pareti e della copertura (acciaio porcellanato e acciaio inox)

BASE GARA				MIGLIORIA 5		INOX	
CLS 50		CLS 35					
CLS 50	564,4 m ³	CLS 35	564,4 m ³	Acciaio porcellanato	61,13 t	Acciaio inox 18/8	61,13 t
Armature acciaio al carbonio	98,77 t	Armature acciaio al carbonio	98,77 t				

con l'acciaio porcellanato, per valutare se tale scelta progettuale possa mostrarsi più conveniente dal punto di vista ambientale rispetto a quanto proposto nel progetto presentato (Miglioria 5) e nel base gara. Come riportato in Tabella 4, per valutare questa alternativa tecnica è stata considerata la produzione di acciaio inox, 18% Cromo e 8% Nichel, e successiva lavorazione di laminazione, assumendo lo stesso quantitativo di acciaio previsto nella Miglioria 5 e la stessa vita utile.

2.2.6. Miglioria 6: "Analisi prestazioni materiali"

Nella Miglioria 6 si considerano gli interventi di ottimizzazione della configurazione impiantistica e dei materiali impiegati previsti nel progetto con migliorie, che comportano l'utilizzo di differenti tipologie e quantitativi di acciaio rispetto a quelle presentate nel progetto base gara.

I potenziali impatti ambientali sono valutati considerando l'intero impianto e distinguendo l'acciaio per le tubazioni e l'acciaio da carpenteria, in quanto caratterizzati da processi produttivi differenti. Come riportato in Tabella 5, le proposte progettuali presentate consentono di ridurre il consumo di acciaio al carbonio per le tubazioni, grazie alla scelta di centralizzare il sistema in un unico punto dell'impianto e di sostituire alcune tubazioni previste nel base gara (tubazioni in elevazione) con nuove tubazioni in acciaio inox; inoltre, parte delle tubazioni in acciaio al carbonio sono state eliminate a seguito della rimozione di alcune unità di trattamento (grigliatura). Le migliorie introdotte permettono anche di ridurre il consumo di acciaio al carbonio e di acciaio zincato per carpenteria, rispetto a quanto previsto nel base gara. D'altra parte, il nuovo progetto comporta un maggior impiego di acciaio inox rispetto al base gara, preferito rispetto all'acciaio al carbonio poiché caratterizzato da una maggior resistenza in ambienti aggressivi, come quello del contesto in esame in prossimità del mare. Nella valutazione, oltre che dei diversi quantitativi per le diverse tipologie di acciaio, si è quindi tenuto conto anche della loro diversa du-

Tabella 5 – Quantitativi di acciaio consumati nel base gara e nel progetto con migliorie, suddivisi in base alla tipologia di acciaio (al carbonio, inox, zincato)

Tipo di acciaio	Base gara[t]	Progetto con migliorie[t]
Tubazioni in acciaio al carbonio	191,4	88,84
Tubazioni in acciaio inox	40,65	75,71
Setti in inox	1,74	0
Acciaio carbonio carpenteria	24,59	13,44
Acciaio zincato carpenteria	90,68	48,2

rabilità: per l'acciaio inox è stata assunta una vita utile pari a 30 anni, mentre per l'acciaio zincato e per le tubazioni in acciaio al carbonio una vita utile pari a 15 anni.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

La Figura 1 (a pagina seguente) mostra come variano gli impatti ambientali ed energetici totali in seguito agli interventi introdotti dal progetto con migliorie rispetto al base gara; i valori, espressi in percentuale, sono calcolati come variazione rispetto al valore complessivo che l'indicatore assume nello scenario base gara. Gli impatti totali nei due progetti a confronto sono stati ottenuti sommando gli impatti di ciascuna migliorie, opportunamente scalati tenendo conto delle relative unità funzionali e cumulati sull'intero periodo di operatività dell'impianto. Per ciascun indicatore di impatto viene dunque mostrato, oltre alla variazione totale, anche il contributo associato a ciascuna migliorie.

Si osserva che il sistema con migliorie presenta impatti minori rispetto a quelli del progetto base gara in quanto le variazioni hanno tutte segno negativo: in tutti gli indicatori di impatto si ha una riduzione di almeno il 20% grazie alle migliorie introdotte. Ad esempio, si osserva che l'indicatore relativo al riscaldamento globale si riduce com-

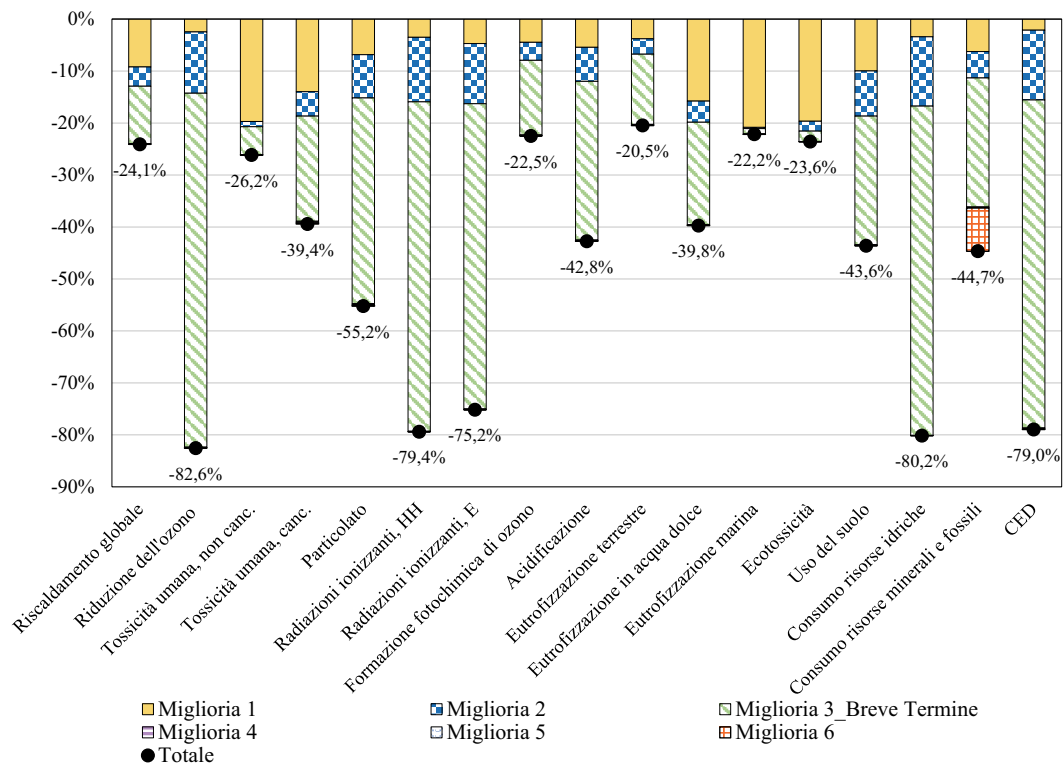


Figura 1 – Variazioni percentuali degli indicatori di impatto totale nel progetto con migliorie rispetto al base gara, con indicazione dei contributi delle singole migliorie. I valori % sono così calcolati: $\Delta(\%) = \frac{\sum_i (\text{Miglioria } (i) - \text{Base Gara } (i))}{\text{Base Gara } (TOT)}$

plessivamente del 24,1% (pari a circa 300 mila tCO_{2eq} su 30 anni di operatività), l'indicatore di consumo di risorse minerali e fossili diminuisce del 44,7% (portando a un risparmio di 4,5 tonnellate di Sb_{eq} nei 30 anni di operatività) e l'indicatore CED mostra una riduzione complessiva del 79% (corrispondente a un risparmio di 4,7 milioni di GJ considerando i 30 anni di operatività). L'analisi ha inoltre evidenziato come i contributi più rilevanti al miglioramento complessivo delle prestazioni ambientali derivino principalmente dagli interventi ricadenti nella Miglioria 1, nella Miglioria 2 e nella Miglioria 3 (per la quale è stato considerato lo scenario a breve termine). L'uso di diverse tipologie e quantità di acciaio previsto nella Miglioria 6 presenta un contributo significativo solo in relazione al consumo di risorse minerali e fossili. Analizzando singolarmente le migliorie, i risultati dell'analisi LCA della Miglioria 1 evidenziano una sostanziale riduzione degli impatti ambientali ed energetici rispetto al base gara. Alcuni degli impatti, espressi su base giornaliera, sono riportati in Figura 2: si osserva una riduzione degli impatti compresa tra il 22 e il 23% rispetto allo smaltimento dei fanghi considerato nel base gara. Per ogni anno di operatività dell'impianto, le migliorie relative al comparto biologico permettono dun-

que di evitare l'emissione di 3.824 tCO_{2eq} di gas serra, il consumo di 21 kg Sb_{eq} di risorse minerali e fossili e di risparmiare 4.216 GJ di energia.

L'entità dei miglioramenti prodotti dalla Miglioria 1 è strettamente dipendente dalla percentuale di riduzione dei fanghi prodotti rispetto al quantitativo previsto nel base gara. Si ricorda che l'analisi è basata sull'ipotesi che il contenuto di sostanza organica e metalli dei fanghi siano gli stessi per lo scenario base e quello con migliorie; pertanto, i vantaggi reali potrebbero essere anche maggiori rispetto a quanto qui riportato nel caso in cui si ottenessero, come previsto da progetto, percentuali di abbattimento maggiori delle sostanze organiche e dunque concentrazioni minori di solidi volatili totali nei fanghi in uscita dal comparto biologico. Si precisa che la riduzione dello smaltimento in discarica del fango contribuisce in modo determinante (98,8%) alla riduzione dell'impatto riscaldamento globale mentre l'incidenza del trasporto è più evidente per la categoria di impatto relativa al consumo di risorse (17,3%) e per l'impatto energetico (18,8%).

Anche per la Miglioria 2, che comporta la riduzione dei consumi elettrici complessivi dell'impianto, si osservano riduzioni significative degli impatti: esse sono comprese tra il 17 e il 18% (Figura 3). Questa miglioria consente di evitare, annualmente,

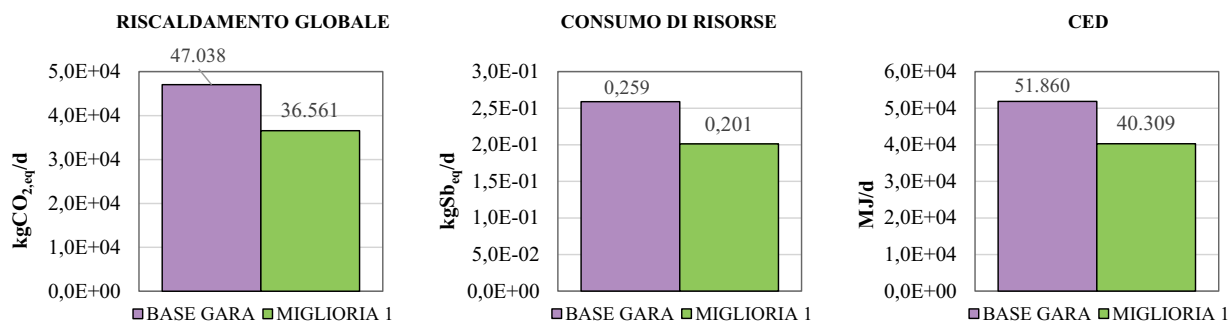


Figura 2 – Confronto tra gli indicatori del riscaldamento globale, del consumo di risorse minerali e fossili e dell’impatto energetico (CED) relativi allo smaltimento dei fanghi nello scenario “base gara” e nello scenario di progetto “Miglioria 1”; valori espressi su scala giornaliera

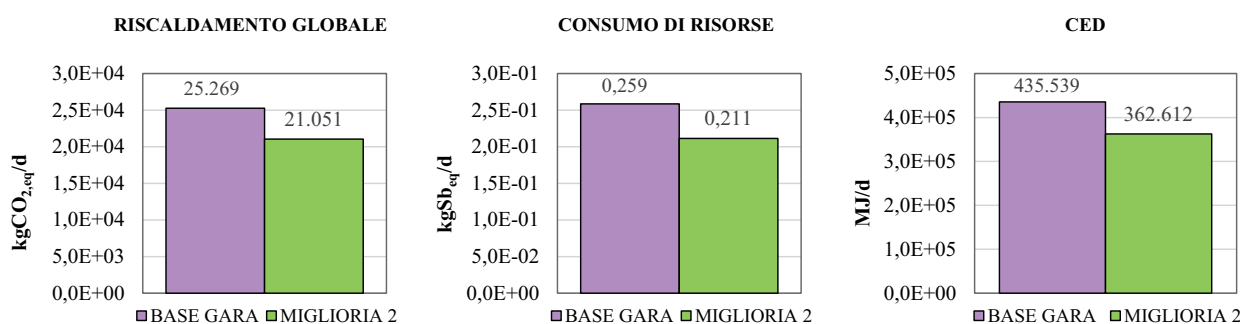


Figura 3 – Confronto tra gli indicatori del riscaldamento globale, del consumo di risorse minerali e fossili e dell’impatto energetico (CED) relativi ai consumi energetici nello scenario “base gara” e nello scenario di progetto “Miglioria 2”; valori espressi su scala giornaliera

un’emissione di 1.540 tCO_{2eq}, un consumo di risorse minerali e fossili pari a 17,5 kgSb_{eq} e un consumo di energia pari a 26.619 GJ.

I risultati dell’analisi LCA della Miglioria 3 (Figura 4, a pagina seguente) evidenziano non solo una significativa riduzione degli impatti ambientali ed energetici rispetto al base gara ma, per alcuni indicatori, come il consumo energetico (CED), si ottengono benefici netti sul sistema grazie alla produzione di energia elettrica attraverso il sistema di cogenerazione del biogas. Ciò permette di evitare la produzione di energia elettrica che, in Italia, avviene prevalentemente mediante risorse non rinnovabili (gas naturale) dando luogo a impatti evitati di entità tale da compensare e superare gli impatti in segno positivo derivanti dalla costruzione e dal funzionamento delle diverse unità che compongono la linea biogas. Prendendo a riferimento gli indicatori di impatto mostrati in Figura 4, espressi su base giornaliera, quello relativo al riscaldamento globale si riduce, rispetto alla configurazione della linea biogas prevista nel progetto base gara, del 31% nel progetto con migliorie a breve termine (1 cogeneratore) e del 77% nel progetto con migliorie a lungo termine (2 co-

generatori). Con le proposte presentate nel progetto per lo scenario a breve termine è possibile, quindi, evitare un impatto pari a 4.611 tCO_{2eq}/anno che potrebbe diventare 11.453 tCO_{2eq}/anno se venisse realizzato il secondo cogeneratore, grazie soprattutto alla riduzione del biogas in eccedenza bruciato in torcia. La modifica della linea biogas è particolarmente benefica per quanto riguarda gli indicatori di consumo di risorse minerali e fossili e di consumo energetico (CED), che passano da impatti positivi nel base gara a benefici netti (impatti negativi in segno) nel progetto con migliorie. L’entità di tali benefici raddoppia passando dallo scenario a breve termine a quello a lungo termine, essendo strettamente dipendente dalla quantità di energia elettrica prodotta dal sistema di cogenerazione. L’indicatore CED si riduce di 343 GJ/d nello scenario a breve termine e di 685 GJ/d in quello a lungo termine, rispetto al base gara; ciò implica che, ogni anno, è possibile ottenere un risparmio di 125 mila GJ e 250 mila GJ, rispettivamente nello scenario a breve termine e in quello a lungo termine. Il risparmio di risorse minerali e fossili derivante dalle modifiche introdotte per la linea biogas è invece di 0,23 kgSb_{eq}/d nello sce-

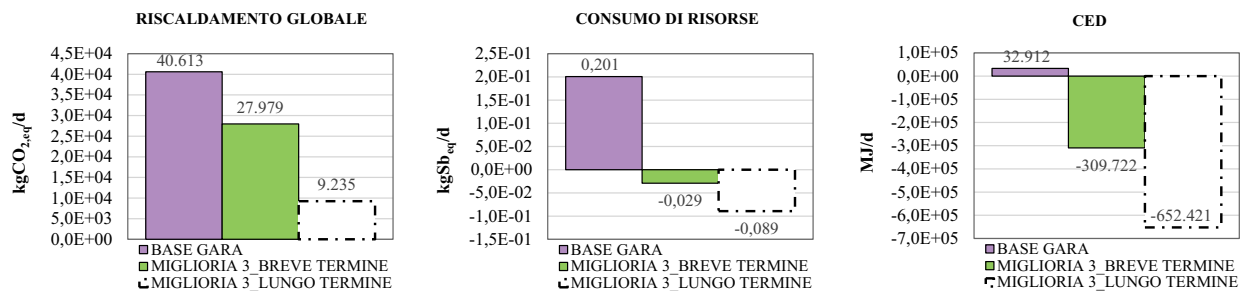


Figura 4 – Confronto tra gli indicatori del riscaldamento globale, del consumo di risorse minerali e fossili e dell’impatto energetico (CED) relativi alla linea biogas nello scenario “base gara”, nello scenario di progetto “Miglioria 3_breve termine” e nello scenario di progetto “Miglioria 3_lungo termine”; valori espressi su scala giornaliera

nario a breve termine e di 0,29 kgSb_{eq}/d in quello a lungo termine che, cumulati su un anno di operatività, risultano pari a 84 kgSb_{eq}/anno e 106 kgSb_{eq}/anno.

I risultati dell’analisi LCA della Miglioria 4, come per la Miglioria 1, sono legati alla percentuale di riduzione dei fanghi prodotti. Si osservano riduzioni contenute degli impatti per tutti gli indicatori (comprese tra il 2% e il 4%). Tale risultato è dovuto al fatto che la produzione di acrilammide presenta impatti ridotti (rispetto ad altri composti organici) e il quantitativo consumato in impianto è di poco inferiore rispetto alla situazione nel base gara (riduzione del 3,6%). Per gli indicatori selezionati (i cui risultati di impatto giornaliero sono riportati in Figura 5) si stimano riduzioni, in un anno di operatività dell’impianto, dell’emissione di CO_{2eq} pari a 10,3 t, del consumo di risorse minerali e fossili di 0,45 kgSb_{eq} e del consumo di energia di 260,5 GJ.

I risultati dell’analisi LCA della Miglioria 5 e delle analisi di sensitività relative alla tipologia di calcestruzzo e di acciaio per le pareti e la copertura dei serbatoi sono mostrati in Figura 6 per gli indicatori selezionati. I valori riportati rappresentano gli impatti totali associati alla costruzione dei tre digestori, per i quali è stata considerata una vita utile di 30 anni in tutti gli scenari analizzati; per poterli sommare ai risultati annui ottenuti nelle altre miglorie è necessario dividerli per 30. Si può osservare come la proposta progettuale di realizzare i serbatoi con acciaio porcellanato risulti essere sempre quella con le migliori prestazioni ambientali, e ciò indipendentemente dal modulo che si sceglie per modellizzare la produzione di calcestruzzo (CLS 50 o CLS 35). La riduzione degli impatti nel progetto proposto, rispetto al base gara (CLS 50), risulta del 63,0% per il riscaldamento globale, del 44,6% per il consumo di risorse minerali e fossili e del 50,4% per il consumo energetico (CED). Tale risultato è

dovuto al minor impatto associato alla produzione di acciaio porcellanato rispetto al calcestruzzo armato e all’acciaio inox, nonostante venga trasportato su gomma e per notevoli distanze. La scelta di utilizzare acciaio inox sarebbe invece peggiorativa dal punto di vista ambientale, rispetto al base gara, soprattutto per quanto riguarda il consumo di risorse minerali e fossili (aumento del 470% dell’impatto) e per il consumo energetico (aumento del 5,6% dell’impatto) mentre appare migliorativa, seppure in misura minore, per la categoria d’impatto del riscaldamento globale (-30,8% se si considera il base gara con CLS 50 e -12,6% se si considera il base gara con CLS 35).

In Figura 7 sono mostrati, per gli indicatori di impatto selezionati, i risultati dell’analisi LCA della Miglioria 6, specificando i contributi dei diversi processi all’impatto complessivo. Mettendo a confronto i due sistemi, si osserva che il base gara comporta impatti maggiori rispetto al progetto con miglorie. Il riscaldamento globale mostra una riduzione del 32,0% e l’impatto energetico (CED) diminuisce del 28,3%. Per entrambi gli indicatori, il processo che impatta maggiormente è la produzione delle tubazioni in acciaio al carbonio (barra verde in Figura 7) seguita dalle tubazioni in acciaio inox (barra arancione), per cui complessivamente il progetto proposto comporta migliori prestazioni ambientali in virtù della riduzione del consumo di acciaio al carbonio. Ancora più evidente appare la riduzione dell’impatto per il consumo di risorse minerali e fossili (-44,8%), dovuta prevalentemente al minor consumo di acciaio zincato per carpenteria nel progetto presentato; infatti, a parità di quantitativo di acciaio consumato, la produzione di acciaio zincato risulta quella più impattante per il consumo di risorse minerali e fossili (19,6 kgSb_{eq}/t per acciaio zincato, 0,18 kgSb_{eq}/t per le tubazioni in acciaio al carbonio e 0,811 kgSb_{eq}/t

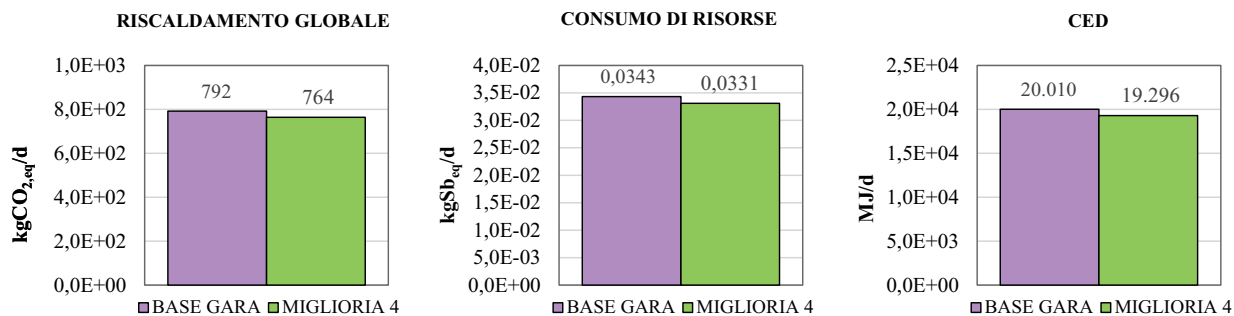


Figura 5 – Confronto tra gli indicatori del riscaldamento globale, del consumo di risorse (minerali e fossili) e dell'impatto energetico (CED) relativi all'uso di polielettrolita nello scenario "base gara" e nello scenario di progetto "Miglioria 4"; valori espressi su scala giornaliera

per le tubazioni in acciaio inox). Si precisa che, come per la Miglioria 5, anche in questo caso è necessario dividere i valori riportati in Figura 7 per gli anni di vita utile dell'impianto per poterli sommare ai risultati annui ottenuti nelle Migliorie 1-4. Tutte le migliorie tecniche proposte sono risultate essere quindi anche delle migliorie sotto il profilo ambientale. In particolare, gli interventi che si dimostrano determinanti ai fini del miglioramento delle prestazioni ambientali dell'impianto di depurazione rispetto al base gara risultano essere quelli in grado di ridurre i quantitativi di fanghi prodotti e smaltiti in discarica, di ottimizzare la linea biogas con l'inserimento della cogenerazione e di ridurre i consumi elettrici totali dell'impianto.

4. CONCLUSIONI

Ad oggi, nonostante quanto previsto dalla ventennale normativa di settore, alcune aree urbane in Italia non sono completamente servite da collettamento e trattamento delle acque reflue.

I progetti di realizzazione di nuovi impianti di trattamento o adeguamento di impianti esistenti de-

vono tenere conto dei vincoli normativi specifici per la tutela dei corpi idrici, ma anche considerare i potenziali impatti su altre matrici ambientali. Lo strumento individuato a tal fine dalla normativa ambientale è quello della VIA, che prevede l'analisi degli impatti legati alla realizzazione e all'esercizio dell'impianto sull'ambiente ad esso circostante.

Un ulteriore supporto alle decisioni, soprattutto per la valutazione di possibili alternative, può essere offerto dall'applicazione della metodologia LCA. Nello studio qui presentato è stato analizzato un progetto di adeguamento e potenziamento di un impianto di depurazione di acque reflue civili. La metodologia LCA è stata utilizzata per confrontare il progetto definitivo, che prevede una configurazione impiantistica basata su requisiti minimi da soddisfare per l'adeguamento dell'impianto, e un progetto che contiene proposte di miglioramento tecnico con implicazioni anche sotto il profilo energetico e ambientale.

L'analisi comparativa è stata svolta in modo indipendente su ciascun aspetto di miglioramento previsto, confermando la sostanziale riduzione de-

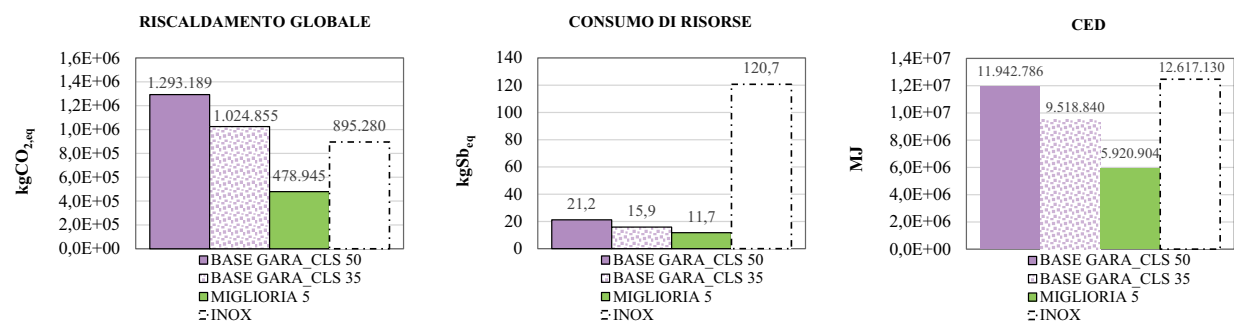


Figura 6 – Confronto tra gli indicatori del riscaldamento globale, del consumo di risorse minerali e fossili e dell'impatto energetico (CED) relativi alla costruzione dei tre digestori nello scenario "base gara", nel base gara considerando il calcestruzzo CLS 35, nello scenario di progetto "Miglioria 5" che prevede l'impiego di acciaio porcellanato e nell'alternativa con acciaio inox; valori cumulati per il periodo di operatività di 30 anni

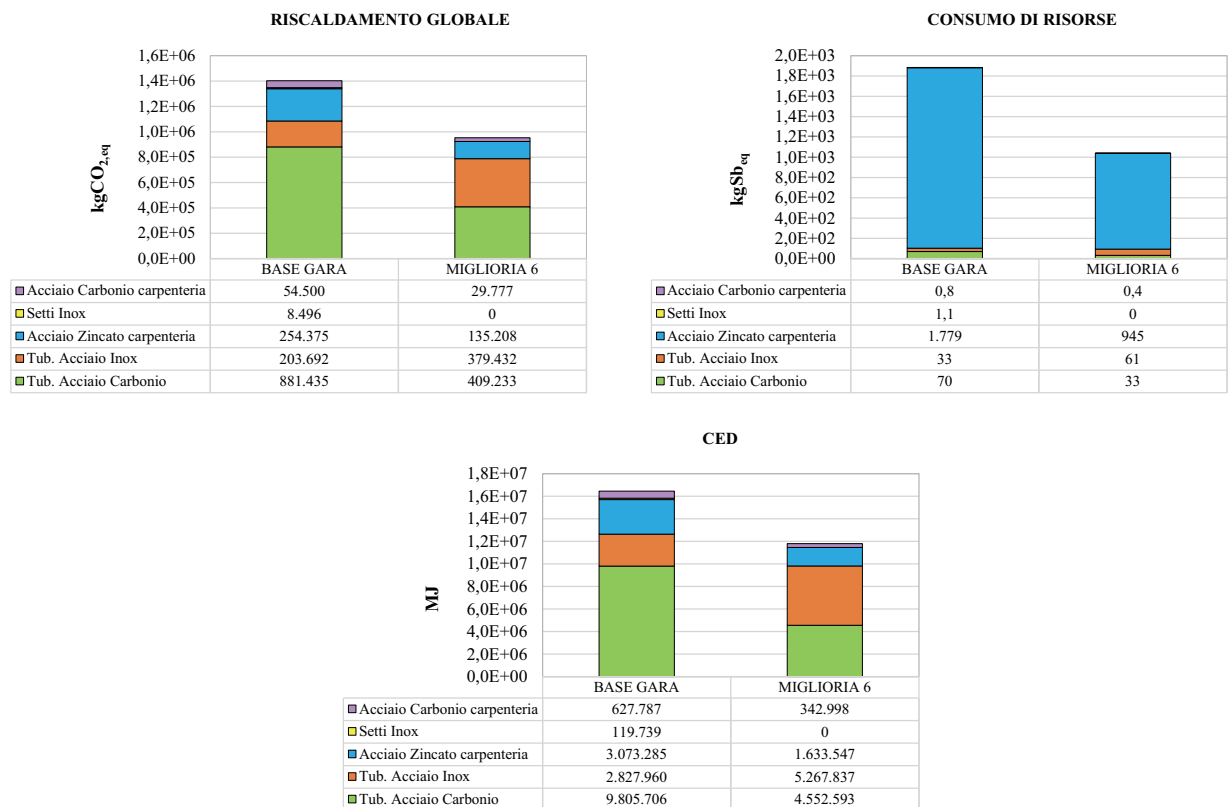


Figura 7 – Confronto tra gli indicatori del riscaldamento globale, del consumo di risorse minerali e fossili e dell'impatto energetico (CED) relativi al consumo di acciaio per la costruzione degli elementi dell'impianto, nello scenario "base gara" e nello scenario di progetto "Miglioria 6"; valori cumulati per il periodo di operatività di 30 anni

gli impatti ambientali del progetto con migliori. Gli interventi determinanti per il raggiungimento di migliori performance ambientali sono quelli volti alla riduzione dei quantitativi di fango prodotti e smaltiti, all'ottimizzazione della linea biogas con l'inserimento della cogenerazione e alla riduzione dei consumi elettrici totali dell'impianto. Tale analisi è stata eseguita ad integrazione di un progetto di adeguamento di un impianto di depurazione per la partecipazione a un bando di gara dove la LCA forniva un valore aggiuntivo nella fase di attribuzione dei punteggi, a rimarcare l'importanza che i temi di sostenibilità ambientale stanno assumendo nell'ambito degli appalti pubblici.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Automobile Club d'Italia – ACI. (2017) Autoritratto 2016 – Consistenza parco veicoli – File Excel Circolante_Covert_2016. Disponibile su: www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/autoritratto/autoritratto-2016.html
- Commissione Europea – Joint Research Center (2011) Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context – based on existing environmental im-

pact assessment models and factors. Disponibile su: eplca.jrc.ec.europa.eu

- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i. (2006) Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana.
- Doka G. (2009) Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services, Part II "Landfills – Underground deposits – Landfarming". Ecoinvent report 13. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Dominguez A., Fernandez Y., Fidalgo B. et al. (2008) Biosyngas production with low concentrations of CO₂ and CH₄ from microwave-induced pyrolysis of wet and dried sewage sludge. *Chemosphere* 70(3): 397-403
- Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.J., et al. (2007) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods: Data v2.0. Ecoinvent report 3. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Istituto Nazionale di Statistica. (2017) Forme, livelli e dinamiche dell'urbanizzazione in Italia. Disponibile su: www.istat.it/it/archivio/199520
- Kanchanapiya P., Sakano T., Kanaoka C., et al. (2006) Characteristics of slag, fly ash and deposited particles during melting of dewatered sewage sludge in a pilot plant. *Journal of Environmental Management* 79 (2): 163-172.
- Magdziarz A e Werle S (2014) Analysis of the combustion and pyrolysis of dried sewage sludge by TGA and MS. *Waste Management* 34 (1): 174-179.
- Tukker A. (2000) Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment. *Environmental impact assessment review* 20 (2000): 435-456.



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2021 è sostenuta da:

