

Ricerca di Sistema elettrico



Combinazione di processi di trattamento integrati in linea acque ed in linea fanghi con sistemi in loco di produzione di energia rinnovabile (biogas, energia solare) per il raggiungimento della neutralità energetica a livello di singolo impianto o di ambito territoriale (LA5.4)

Gianni Andreottola

Combinazione di processi di trattamento integrati in linea acque ed in linea fanghi con sistemi in loco di produzione di energia rinnovabile (biogas, energia solare) per il raggiungimento della neutralità energetica a livello di singolo impianto o di ambito territoriale (LA5.4)

Gianni Andreottola

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica -ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: 1.6 - Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

Linea di attività: 5.4

Responsabile del Progetto: Miriam Benedetti, ENEA

Responsabile del Work Package: Davide Mattioli, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell'Università degli Studi di Trento

Mese inizio previsto: Gennaio 2023

Mese inizio effettivo: Gennaio 2023

Mese fine previsto: Dicembre 2024

Mese fine effettivo: Dicembre 2024

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione.

Indice

1	Risultati attesi	4
2	Risultati ottenuti	5
3	Prodotti attesi	6
4	Prodotti sviluppati	7
5.	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	8
6	Sintesi delle attività svolte	9
7	Dettaglio delle attività svolte.....	10
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	21
9.	Pubblicazioni scientifiche	22
10.	Eventi di disseminazione.....	23

Indice delle figure

Figura 1 - Schema di flusso impianto Satellite (configurazione base)	10
Figura 2 - Schema di flusso impianto Hub	12
Figura 3 - Schema conferimento centralizzato in configurazione Hub-Satelliti (n impianti Satelliti complessivi).....	15

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Ripartizione dei consumi energetici dell'impianto satellite nello scenario base	11
Tabella 2 - Ripartizione dei consumi energetici dell'impianto Hub nella configurazione base	12
Tabella 3- Descrizione scenari tecnologici impianto Satellite (OSCAR+RBF SK6000 Salsnes Filters).....	15
Tabella 4 - Descrizione scenari tecnologici impianto Hub (ZeeLung+OSCAR+Ephyra)	16
Tabella 5 - Descrizione scenari tecnologici impianto Hub con conferimento esterno del fango primario da vari Satelliti	16
Tabella 6 - risparmio energetico e riduzione costo annuale per l'impianto Satellite.....	17
Tabella 7 - risparmio energetico e riduzione costo annuale per l'impianto Hub (considerando autoproduzione)	18
Tabella 8 - risparmio energetico e riduzione costo annuale per l'impianto Hub con conferimento centralizzato (considerando autoproduzione).....	18
Tabella 9- Scenario di consumo H5A con aggiunta di contributo da impianto idroelettrico e fotovoltaico in loco	19
Tabella 10- Produzione energetica dal parco fotovoltaico.....	19
Tabella 11- Produzione energetica dell'impianto di biodigestione FORSU	20

1 Risultati attesi

La presente LA si è posta l'obiettivo di valutare, partendo da due modelli di impianti di depurazione convenzionali ed energeticamente efficienti (uno a media potenzialità ed uno di grande potenzialità) l'efficacia dell'integrazione di processi avanzati, sia in linea acque che in linea fanghi, per l'adeguamento energetico degli impianti esistenti e per il raggiungimento della neutralità energetica a livello di singolo impianto o di ambito territoriale.

2 Risultati ottenuti

La presente LA ha dimostrato, mediante una serie articolata di simulazioni matematiche di scenari di applicazione di una filiera avanzata di sistemi di adeguamento della linea acque e della linea fanghi, validati da esperienze a scala reale e da dati progettuali forniti dai produttori dei sistemi stessi, che, mediante il conferimento di fanghi primari addensati dagli impianti satellite all'impianto Hub è possibile:

- Ridurre del 51.1% i consumi energetici negli impianti satelliti con gli interventi di adeguamento senza pregiudicare la qualità dell'effluente depurato.
- Ridurre quasi totalmente (96.8%) i consumi energetici nell'impianto hub, mediante la riduzione dei consumi ottenuta con gli interventi di adeguamento e l'autoproduzione di energia dal biogas prodotto. Il sistema MABR Zeelung ha anche incrementato la rimozione dell'azoto, consentendo all'impianto Hub di raggiungere i limiti allo scarico dell'azoto totale più restrittivi (8 mg/L) previsti dalla nuova Direttiva Europea 2024/3019 sul trattamento delle acque reflue urbane pubblicata il 12/12/2024.
- Raggiungere la neutralità energetica a livello di bacino con ulteriori apporti di energia rinnovabile prodotta in loco (fotovoltaico nell'Hub e negli impianti satellite, energia idroelettrica da bassi salti idraulici negli impianti, nel nostro caso nell'impianto Hub) ma soprattutto energia rinnovabile prodotta nel bacino (digestione anaerobica della FORSU, energia solare, energia eolica) da parte dei proprietari/gestori degli impianti di depurazione. In particolare, si è mostrato che la gestione di impianti di conversione in compost della FORSU prodotta nel bacino, con uno stadio integrato di digestione anaerobica termofila, è in grado di mettere in rete circa 60 kWh per abitante del bacino, energia ben superiore a quella necessaria al raggiungimento della neutralità energetica e disponibile in modo costante durante la giornata.

3 Prodotti attesi

I prodotti attesi della LA sono i seguenti:

- Short-list, sotto forma di foglio di calcolo Excel, dei parametri necessari per l'implementazione dei singoli sistemi implementati nella filiera tecnologica di adeguamento della linea acque e fanghi dell'impianto satellite, con indicati i consumi energetici totali e specifici e le performance ambientali dei due impianti.
- Report scientifico conclusivo in cui sono riportate, per ciascuna fase dell'attività di ricerca, la metodologia utilizzata e i risultati ottenuti. In particolare, nel report sono riportate le performance di trattamento ed i consumi energetici relativi a ciascuno scenario analizzato con la simulazione matematica dei due modelli di benchmark, con e senza l'apporto di energie rinnovabili.

4 Prodotti sviluppati

I prodotti sviluppati dalla LA sono i seguenti, in linea con quanto indicato nel capitolato del progetto:

- Short-list, sotto forma di foglio di calcolo Excel, dei parametri necessari per l'implementazione dei singoli sistemi implementati nella filiera tecnologica di adeguamento della linea acque e fanghi dell'impianto satellite, con indicati i consumi energetici totali e specifici e le performance ambientali dei due impianti.
- Report scientifico conclusivo in cui sono riportate, per ciascuna fase dell'attività di ricerca, la metodologia utilizzata e i risultati ottenuti. In particolare, nel report sono riportate le performance di trattamento ed i consumi energetici relativi a ciascuno scenario analizzato con la simulazione matematica dei due modelli di benchmark, con e senza l'apporto di energie rinnovabili.

5. Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Sono state svolte tutte le attività previste e sono stati raggiunti i risultati attesi dal progetto.

6 Sintesi delle attività svolte

Sono stati presi a modello due impianti di depurazione convenzionali esistenti (uno denominato impianto satellite da 35000 AE) ed uno denominato impianto Hub (250000 AE). I due impianti sono stati modellizzati con un software avanzato di simulazione dei processi di depurazione (BioWin). Sono stati analizzati diversi scenari con applicazione di sistemi avanzati in linea acque e in linea fanghi per la riduzione dei consumi energetici nei due impianti e per la diversione di sostanza organica gassificabile dall'impianto satellite all'impianto hub. E' stato infine valutato il fabbisogno energetico, per il raggiungimento della neutralità energetica a livello di bacino, da autoproduzione con fonti rinnovabili in loco (impianto fotovoltaico ed impianto idroelettrico implementabili nell'impianto Hub) o fonti esterne di bacino (impianto trattamento FORSU prodotta nel bacino stesso con un trattamento semi-dry anaerobico seguito da compostaggio con rifiuti lignocellulosici o parco fotovoltaico).

7 Dettaglio delle attività svolte

Le attività di ricerca si sono sviluppate nell'arco di 24 mesi, ripartite in quattro distinte fasi.

Fase 1 - Definizione degli impianti di trattamento di benchmark

L'impianto di depurazione Satellite è composto da una sezione di pre-trattamento (grigliatura grossolana/fine e dissabbiatura), sollevamento iniziale, un comparto di predenitrificazione-nitrificazione su due linee funzionanti in parallelo (e dosaggio di policloruro di alluminio come defosfatante), tre linee di sedimentazione secondaria, filtrazione a dischi semisommersi e disinfezione UV. È presente, inoltre, una linea di trattamento fanghi dotata di digestione aerobica e post-ispessimento statico con funzione di accumulo e ispessimento dinamico tramite centrifuga mobile. In figura 1 è riportato lo schema di flusso dell'impianto nella configurazione base.

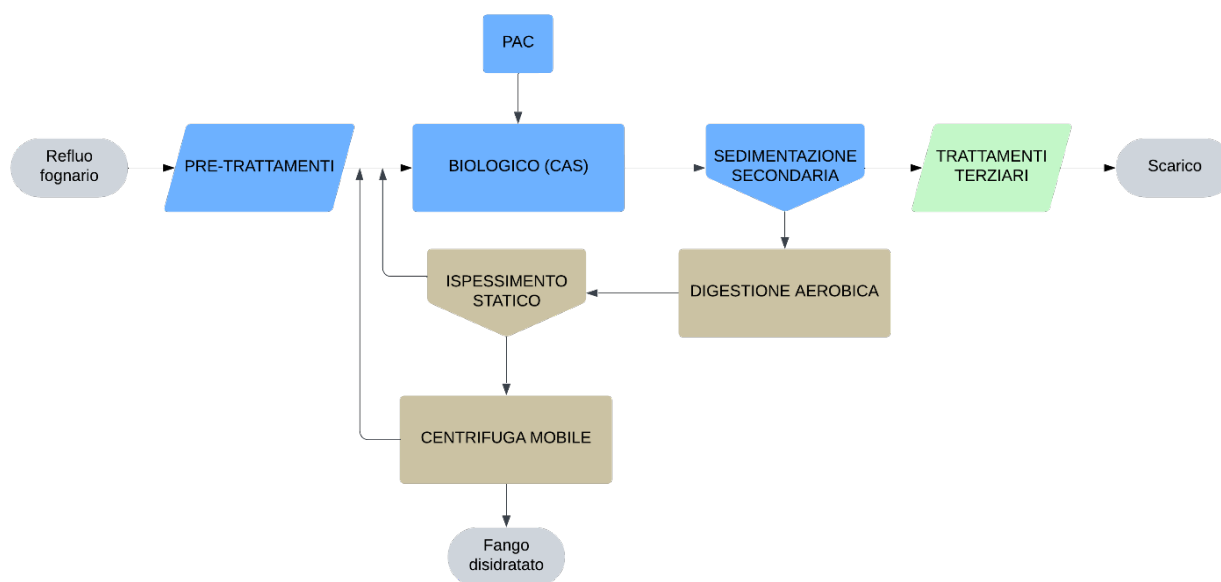


Figura 1 - Schema di flusso impianto Satellite (configurazione base)

Per permettere la simulazione dei vari scenari tecnologici è stato elaborato un modello dinamico dell'impianto utilizzando il software BioWin (Envirosim Associates Ltd., Canada), basato sui dati di volumetrie e processo e delle analisi medie annuali forniti dal gestore.

I consumi energetici dei vari macchinari dell'impianto sono riportati in tabella 1, a partire da rilevamenti tramite energy meter e stime sulla base di ore di funzionamento e consumo dichiarato dai produttori dei macchinari.

Tabella 1 - Ripartizione dei consumi energetici dell'impianto satellite nello scenario base

			% sul totale
CONSUMO TOTALE IMPIANTO	3777.2	kWh/d	100%
Soffianti comparto biologico	1584.0	kWh/d	41.9%
Soffianti digestione aerobica	396.0	kWh/d	10.5%
Mixer digestione aerobica	120.0	kWh/d	3.2%
Pompaggio ricircolo miscela aerata	96.0	kWh/d	2.5%
Pompe ricircolo fanghi	443.5	kWh/d	11.7%
Pompe supero	2.1	kWh/d	0.1%
Centrifuga mobile	40.0	kWh/d	1.1%
Altri comparti (pre-trattamenti, sollevamento iniziale, mixer denitro, carroponti, dosaggi, disinfezione UV, illuminazione e quadri)	855.8	kWh/d	22.7%

Nell'impianto di depurazione Hub la filiera di trattamento delle acque si sviluppa attraverso una grigliatura fine su due linee parallele, seguita dalla dissabbiatura in due dissabbiatori longitudinali aerati che a loro volta convogliano in due linee di sedimentazione primaria. Il comparto biologico è costituito da una fase di pre-denitrificazione in due linee parallele, equipaggiate con elettromiscelatori sommersi, e una successiva fase di nitrificazione in cinque vasche aerate. La sedimentazione secondaria avviene in sei linee parallele, dotate di vasche circolari con carroponte. Il refluo sedimentato confluisce poi alla disinfezione finale con dosaggio di acido peracetico (effluente in parte riutilizzato come acqua industriale per le esigenze interne dell'impianto).

La linea fanghi, invece, comprende un pre-ispessitore statico seguito da un ispessimento dinamico con tavola piana e dosaggio di polielettrolita. I fanghi ispessiti sono successivamente trattati in due digestori anaerobici operanti in condizioni mesofile (35°C) e in parallelo; la temperatura viene mantenuta grazie al prelievo del fango e la sua successiva reimmissione nei rispettivi reattori, tramite pompaggio verso uno scambiatore di calore, il quale sfrutta energia termica prodotta dal termovalorizzatore adiacente all'impianto. Il biogas prodotto viene quindi stoccato in un gasometro (350 m³) e utilizzato per alimentare un cogeneratore che produce energia elettrica in loco. La linea fanghi si conclude con un post-digestore e la disidratazione tramite due nastropresse funzionanti in parallelo, con ricircolo delle acque madri in testa impianto.

In figura 2 è riportato lo schema di flusso dell'impianto nella configurazione base sopra descritta.

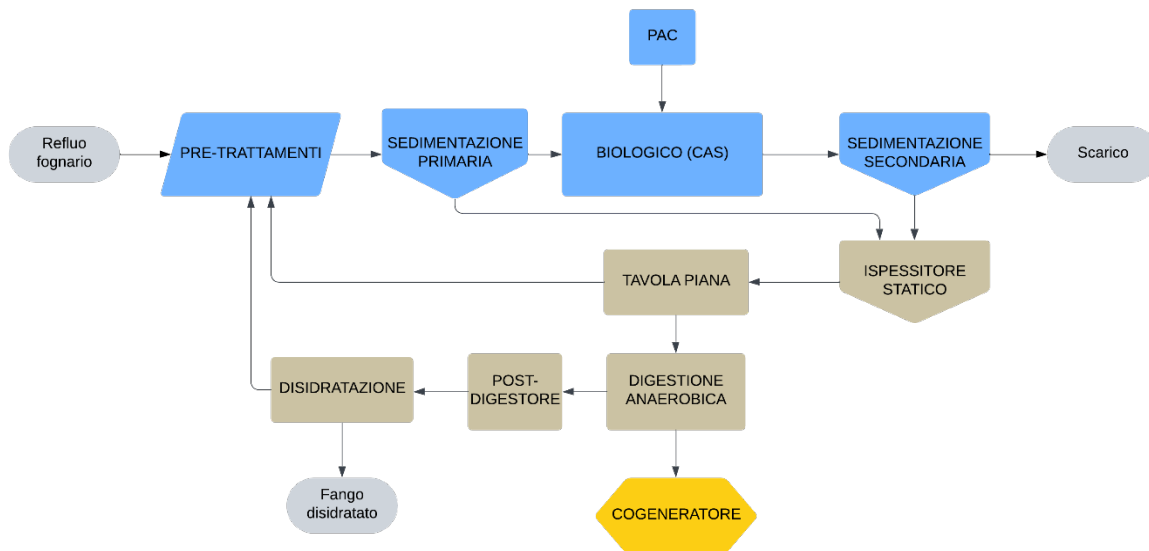


Figura 2 - Schema di flusso impianto Hub

In analogia a quanto descritto precedentemente per l'impianto Satellite, anche per questo impianto è stato elaborato un modello dinamico utilizzando il software BioWin. Il modello è stato sviluppato per simulare i vari scenari tecnologici, impiegando i dati relativi a volumetrie e concentrazioni in ingresso forniti dal gestore.

I consumi energetici dei macchinari presenti nei vari comparti di trattamento sono riportati in tabella 2, coerentemente con i dati rilevati tramite energy-meter e stime sulla base di ore di funzionamento e consumo dichiarato dai produttori dei macchinari.

Tabella 2 - Ripartizione dei consumi energetici dell'impianto Hub nella configurazione base

			% sul totale
CONSUMO TOTALE IMPIANTO	15710.0	kWh/d	100%
Compressori aria	4007.2	kWh/d	25.5%
Sollevamento iniziale	1858.4	kWh/d	11.8%
Sollevamento intermedio	552.1	kWh/d	3.5%
Sollevamento acqua industriale	845.2	kWh/d	5.4%
Pre-trattamenti (grigliature, dissabbiatura)	604.9	kWh/d	3.9%
Sedimentazione primaria (pompe fanghi + carroporti)	295.1	kWh/d	1.9%
Mixer vasche denitrificazione	1730.9	kWh/d	11.0%
Pompe ricircolo miscela aerata	1604.8	kWh/d	10.2%
Pompe ricircolo fanghi	1537.4	kWh/d	9.8%
Sedimentazione secondaria (carroporti e pompe)	405.9	kWh/d	2.6%
Deodorizzazione (biofiltri)	532.8	kWh/d	3.4%
Linea fanghi	1186.4	kWh/d	7.6%
Linea biogas e cogeneratore	125.3	kWh/d	0.8%
Altro (raffrescamento, illuminazione e quadri, dosaggi, aria servizio)	423.7	kWh/d	2.7%

Fase 2 - Identificazione dei sistemi di trattamento avanzati in linea acque e linea fanghi per l'adeguamento energetico dell'impianto "hub" e dell'impianto "satellite"

Il gruppo di ricerca di UNITN ha identificato sulla base della più recente letteratura scientifica internazionale e mediante dati tecnici ed operativi forniti direttamente dagli sviluppatori dei sistemi di trattamento, una "short list" di sistemi che applicati singolarmente alla linea acque o alla linea fanghi abbiano dimostrato di migliorare il bilancio energetico dell'impianto di depurazione.

Si riportano di seguito i processi ricompresi nella "short list" per i risultati ottenuti nelle applicazioni a scala reale:

LINEA ACQUE - TRATTAMENTI PRIMARI

- **A1 - Sistemi di filtrazione dinamica del refluo** in uscita dal comparto di dissabbiatura per ottenere una significativa diversione dei SST e della sostanza organica lentamente biodegradabile dalla linea acque alla linea fanghi. Tali sistemi consentono anche di ispessire e disidratare il fango prodotto a tenori di secco elevati, che ne consentono anche il trasferimento in un biodigestore centralizzato delocalizzato presso gli impianti a maggiore potenzialità del territorio servito.
- **A2 - Sistemi CEPT (Chemically Enhanced Primary Treatment)** che potenziano il comparto di sedimentazione primaria convenzionale, mediante l'aggiunta di "chemicals" di varia natura, consentendo una diversione dei SST e del COD biodegradabile verso la linea fanghi, ben maggiore dei convenzionali sedimentatori primari.
- **A3 - Sistemi di fanghi attivi ad alto carico (HRAS)**, basati su tempi di ritenzione idraulica (HRT: 1-2 h) e tempi di ritenzione del fango (SRT: 0,5-2d) piuttosto bassi, che consentono di ottenere elevate rimozioni del carbonio attraverso adsorbimento, bioflocculazione e assimilazione biologica.

Tra i tre sistemi si è optato per la soluzione A1 (in particolare il sistema RBF Salsnes Filter), altamente compatibile con impianti di depurazione satelliti, privi di sedimentazione primaria. Le soluzioni A2 e A3 sono idonee al potenziamento di sistemi già dotati di sedimentazione primaria.

LINEA ACQUE - TRATTAMENTI SECONDARI

- **B1 - Sistemi MABR (Membrane Aerated Biofilm Reactor)** per l'adeguamento del comparto di predenitrificazione convenzionale, con l'obiettivo di consentire la rimozione di un'aliquota dell'azoto totale, di nitrificare sui supporti a biofilm aerati dall'interno all'esterno almeno il 30% dell'azoto ammoniacale e denitrificarlo nel comparto esterno, riducendo i consumi energetici e contribuendo anche a migliorare la rimozione totale dell'azoto dell'impianto di depurazione. Si è adottato in particolare il sistema Zeelung di Veolia per la sua diffusione sul mercato.
- **B2 - Sistemi a fasi alternate nel comparto aerobico**, con un controller avanzato di processo che consente di adattare la lunghezza delle fasi aerobiche ai carichi in ingresso, riducendo sensibilmente i consumi energetici ed anche la rimozione totale dell'azoto dell'impianto di depurazione. Tale processo può essere applicato con successo anche alla digestione aerobica dei fanghi di depurazione. Tra i sistemi oggi presenti sul mercato italiano si è optato per uno dei più diffusi: il processo OSCAR.

I sistemi B1 sono stati adottati per l'adeguamento dell'impianto Hub, mentre i sistemi B2 sono stati adottati sia per gli impianti satelliti che per quello hub.

TRATTAMENTI IN LINEA FANGHI

- **C1 - Combinazione della digestione anaerobica con trattamenti di termoidrolisi avanzata** per tempi compresi tra 30 min e 1 ora e temperature tipiche di termoidrolisi di 150-180 °C.
- **C2 - Processo Ephyra** è un sistema di digestione anaerobica "multifase", ottenuto convertendo un digestore convenzionale (uno o due stadi) in uno a tre o quattro stadi con il parziale ricircolo del digestato al primo reattore.

I risultati delle esperienze condotte a scala reale sul sistema C2 e le conferme derivanti dalle simulazioni con i modelli matematici hanno indotto il gruppo di ricerca di UNITN ad individuare come trattamento di filiera in linea fanghi per il depuratore hub il sistema C2, in quanto consente non solo di incrementare significativamente la produzione di biogas, ma soprattutto di ridurre drasticamente i tempi di digestione, consentendo di sfruttare la capacità residua liberata per trattare i flussi di fanghi primari provenienti dagli impianti satelliti.

Nei depuratori satelliti è stata invece implementato nella digestione aerobica dei fanghi il sistema B2, per gli evidenti vantaggi in termini energetici di sfruttare le fasi anossiche per stabilizzare i fanghi di depurazione in un ambiente anossico, senza consumi energetici e riducendo il carico di azoto ricircolato in linea acque dopo la disidratazione meccanica dei fanghi.

Per ognuno dei processi proposti sono stati raccolti ed elaborati i dati operativi (inclusi i consumi energetici) e le prestazioni derivanti dall'applicazione a scala reale o a scala di prototipo industriale, identificando tutti i parametri necessari per l'implementazione di tali processi nelle piattaforme di simulazione operativa degli impianti di depurazione.

La filiera completa nell'impianto satellite comprende l'applicazione in linea acque del sistema RBF Salsnes per la diversione del carbonio all'impianto Hub, il processo Oscar al comparto biologico. In linea fanghi il processo Oscar alla digestione aerobica.

La filiera completa nell'impianto Hub comprende l'applicazione in linea acque del sistema MABR ZeeLung nel comparto denitrificazione, il sistema Oscar al comparto di nitrificazione. In linea fanghi il processo Ephyra alla digestione anaerobica.

Fase 3 - Simulazione dell'efficacia di trattamento e di risparmio energetico derivanti dall'applicazione della filiera di trattamenti nell'impianto "satellite" e nell'impianto "hub"

Sono stati identificati per ognuno dei due impianti modello (satellite e hub) una serie di scenari con la progressiva applicazione dei sistemi previsti nella filiera tecnologica di adeguamento completa dei due impianti. Ciascuno scenario è stato simulato mediante l'utilizzo del modello dinamico dell'impianto, calibrato e validato sulla base dei dati di gestione attuali, per verificare il rispetto dei limiti allo scarico e il consumo associato ai vari comparti di trattamento, in seguito all'implementazione degli interventi previsti dal singolo scenario in esame. Le valutazioni di processo sono state effettuate considerando i dati di caratterizzazione media del refluo in ingresso e la temperatura media annuale forniti dai gestori.

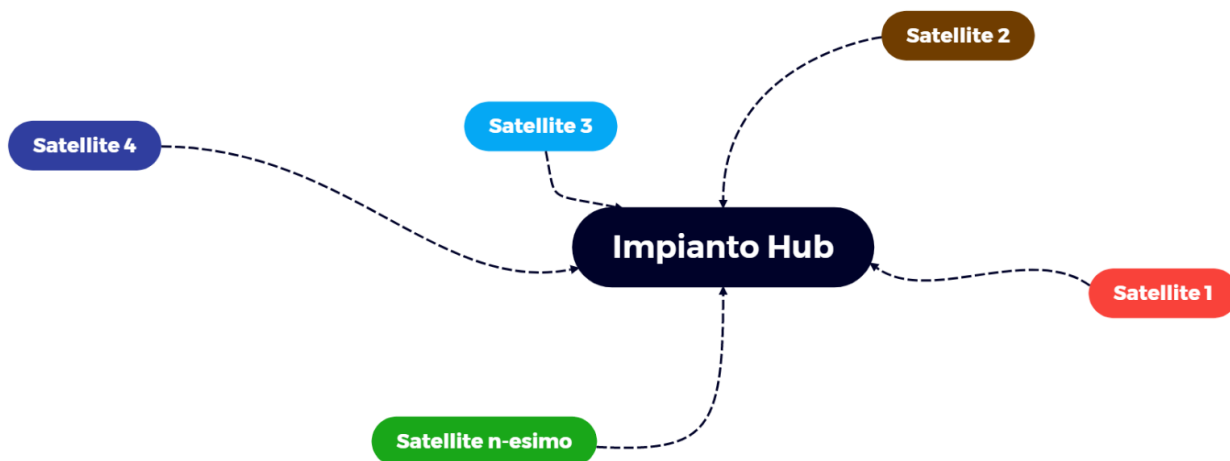


Figura 3 - Schema conferimento centralizzato in configurazione Hub-Satelliti (n impianti Satelliti complessivi)

Nelle tabelle 3 e 4 e 5 si riportano le descrizioni sintetiche dei vari scenari di progetto con complessità di retrofitting crescente, il consumo energetico dello scenario (riferito al m³ di refluo trattato e la variazione del consumo energetico rispetto all'impianto nella sua configurazione base iniziale. La Tab. 3 riporta i risultati delle simulazioni condotte sull'impianto Satellite, la Tab. 4 quelli relativi all'impianto Hub ed infine la Tab. 5 quelli dell'impianto Hub con il conferimento centralizzato del fango primario disidratato dai vari impianti Satelliti, come rappresentato schematicamente in figura 3.

Tabella 3- Descrizione scenari tecnologici impianto Satellite (OSCAR+RBF SK6000 Salsnes Filters)

SCENARI IMPIANTO SATELLITE					
Descrizione interventi		Consumo specifico		Riduzione consumo	
Scenario S0	<ul style="list-style-type: none"> Baseline energetica 	0.43	kWh/m ³	0.0	%
Scenario S1	<ul style="list-style-type: none"> Applicazione OSCAR in comparto nitrificazione 	0.29	kWh/m ³	32.4	%
Scenario S1A	<ul style="list-style-type: none"> Applicazione OSCAR in comparto nitrificazione Applicazione OSCAR in comparto digestione aerobica 	0.25	kWh/m ³	42.2	%
Scenario S2	<ul style="list-style-type: none"> Introduzione filtri RBF Salsnes per recupero fango primario 	0.30	kWh/m ³	29.9	%
Scenario S3	<ul style="list-style-type: none"> Introduzione filtri RBF Salsnes per recupero fango primario Applicazione OSCAR in comparto nitrificazione 	0.24	kWh/m ³	43.3	%
Scenario S3A	<ul style="list-style-type: none"> Introduzione filtri RBF Salsnes per recupero fango primario Applicazione OSCAR in comparto nitrificazione Applicazione OSCAR in comparto digestione aerobica 	0.22	kWh/m ³	47.9	%
Scenario S3B	<ul style="list-style-type: none"> Introduzione filtri RBF Salsnes per recupero fango primario Dosaggio chemicals per aumentare performance riduzione RBF (CEF) Applicazione OSCAR in comparto nitrificazione Applicazione OSCAR in comparto digestione aerobica 	0.21	kWh/m ³	51.1	%

Tabella 4 - Descrizione scenari tecnologici impianto Hub (ZeeLung+OSCAR+Ephyra)

SCENARI IMPIANTO HUB							
	Descrizione interventi	Consumo specifico		Riduzione consumo		Copertura consumi (autoproduzione)	
Scenario H0	<ul style="list-style-type: none"> Baseline energetica 	0.31	<i>kWh/m³</i>	0.0	%	10.6	%
Scenario H1	<ul style="list-style-type: none"> OSCAR in comparto nitrificazione OSCAR in comparto denitrificazione (aerazione pulsata) 	0.22	<i>kWh/m³</i>	28.2	%	15.1	%
Scenario H2	<ul style="list-style-type: none"> ZeeLung in comparto denitrificazione 	0.28	<i>kWh/m³</i>	8.7	%	12.4	%
Scenario H3	<ul style="list-style-type: none"> ZeeLung in comparto denitrificazione Ephyra in digestione anaerobica 	0.28	<i>kWh/m³</i>	9.5	%	13.8	%
Scenario H4	<ul style="list-style-type: none"> ZeeLung in comparto denitrificazione OSCAR in comparto nitrificazione OSCAR in comparto denitrificazione (aerazione pulsata) 	0.24	<i>kWh/m³</i>	23.9	%	14.7	%
Scenario H5	<ul style="list-style-type: none"> ZeeLung in comparto denitrificazione OSCAR in comparto nitrificazione OSCAR in comparto denitrificazione (aerazione pulsata) Ephyra in digestione anaerobica 	0.23	<i>kWh/m³</i>	24.3	%	16.4	%

Tabella 5 - Descrizione scenari tecnologici impianto Hub con conferimento esterno del fango primario da vari Satelliti

SCENARI CONFIGURAZIONE BACINO							
	Descrizione interventi	Consumo specifico		Riduzione consumo		Copertura consumi (autoproduzione)	
Scenario H2A	<ul style="list-style-type: none"> MABR ZeeLung in comparto denitrificazione Conferimento centralizzato fango primario (da satelliti) 	0.29	<i>kWh/m³</i>	6.1	%	83.5	%
Scenario H3A	<ul style="list-style-type: none"> MABR ZeeLung in comparto denitrificazione Ephyra in digestione anaerobica Conferimento centralizzato fango primario (da satelliti) 	0.29	<i>kWh/m³</i>	5.6	%	86.3	%
Scenario H4A	<ul style="list-style-type: none"> MABR ZeeLung in comparto denitrificazione OSCAR in comparto nitrificazione OSCAR in comparto denitrificazione (aerazione pulsata) Conferimento centralizzato fango primario (da satelliti) 	0.26	<i>kWh/m³</i>	15.7	%	92.7	%

Scenario H5A	<ul style="list-style-type: none"> • MABR ZeeLung in comparto denitrificazione • OSCAR in comparto nitrificazione • OSCAR in comparto denitrificazione (aerazione pulsata) • Ephyra in digestione anaerobica • Conferimento centralizzato fango primario (da satelliti) 	0.26	kWh/m ³	16.0	%	96.8	%
---------------------	--	------	--------------------	------	---	------	---

L'efficienza energetica degli impianti Satellite e Hub è influenzata significativamente dalle fluttuazioni giornaliere delle portate e dei macroinquinanti in ingresso, sia in tempo secco che in tempo di pioggia. In tempo secco, i consumi energetici raggiungono i loro massimi nelle prime ore del mattino, in corrispondenza dei picchi di carico, mentre durante gli eventi meteorici si registra un incremento dei consumi dovuto principalmente all'attività dei sistemi di sollevamento. Le varie filiere identificate sia per l'impianto Satellite che per l'Hub si sono dimostrate adattive alle variazioni orarie dei carichi ed alle variazioni tempo secco - tempo di pioggia: in particolare, la presenza del sistema a fasi alternate consente di modulare in maniera ottimale i consumi energetici in funzione dei carichi effettivamente entranti, così come gli inverter sulle pompe di sollevamento consentono di adattare bene i consumi del comparto di sollevamento alle portate entranti.

Più complesso è invece l'adattamento della filiera alla distribuzione oraria del Prezzo Unico Nazionale (PUN): la sezione più adattativa, infatti, è quella della disidratazione dei fanghi, il cui tempo operativo può essere almeno parzialmente collocato in orari a basso costo dell'energia. Le maggiori sezioni energivore (ossidazione biologica, sollevamento) sono invece vincolate all'andamento dei carichi organici ed idraulici in ingresso e sono scarsamente adattativi alla variazione dei prezzi orari dell'energia. Sarebbe possibile un maggiore risparmio economico, implementando sistemi di controllo avanzati che modulino l'operatività del sistema a fasi alternate nel comparto biologico in funzione dei carichi in ingresso, delle tariffe energetiche variabili e dell'eventuale variazione oraria della produzione in loco di energia da pannelli fotovoltaici.

In tabella 6, 7 e 8 vengono invece riportati il risparmio energetico e la relativa valutazione economica rispettivamente per gli scenari dell'impianto Satellite, dell'impianto Hub e dell'impianto Hub con conferimento centralizzato, considerando un costo dell'energia pari a 0.289 €/kWh (fonte ARERA, 2024).

Tabella 6 – Risparmio energetico e riduzione costo annuale per l'impianto Satellite

Scenario	Risparmio energetico	Riduzione costo
S1	446.9 MWh/y	129.1 k€/y
S1A	581.7 MWh/y	168.1 k€/y
S2	411.8 MWh/y	119.0 k€/y
S3	597.4 MWh/y	172.6 k€/y
S3A	660.5 MWh/y	190.9 k€/y
S3B	704.9 MWh/y	203.7 k€/y

Tabella 7 – Risparmio energetico e riduzione costo annuale per l'impianto Hub (considerando autoproduzione)

4

Scenario	Risparmio energetico		Riduzione costo	
		<i>MWh/y</i>		<i>k€/y</i>
H1	1629.5	<i>MWh/y</i>	470.9	<i>k€/y</i>
H2	534.0	<i>MWh/y</i>	154.3	<i>k€/y</i>
H3	650.5	<i>MWh/y</i>	188.0	<i>k€/y</i>
H4	1404.6	<i>MWh/y</i>	405.9	<i>k€/y</i>
H5	1495.3	<i>MWh/y</i>	432.1	<i>k€/y</i>

Tabella 8 - Risparmio energetico e riduzione costo annuale per l'impianto Hub con conferimento centralizzato (considerando autoproduzione)

Scenario	Risparmio energetico		Riduzione costo	
		<i>MWh/y</i>		<i>k€/y</i>
H2A	4237.3	<i>MWh/y</i>	1224.6	<i>k€/y</i>
H3A	4381.3	<i>MWh/y</i>	1266.2	<i>k€/y</i>
H4A	4770.9	<i>MWh/y</i>	1378.8	<i>k€/y</i>
H5A	4971.4	<i>MWh/y</i>	1436.7	<i>k€/y</i>

Fase 4 - Valutazione del fabbisogno energetico residuo da autoproduzione con fonti rinnovabili per raggiungere la neutralità energetica a livello di bacino

Nell'ultima fase è stato valutato il fabbisogno energetico residuo da autoproduzione con fonti rinnovabili in loco (energia solare, energia idroelettrica da salti idraulici sull'effluente) o da impianti esterni nel bacino, gestiti/di proprietà dello stesso gestore della rete di impianti di depurazione.

Nel presente progetto è stato preso in considerazione un impianto fotovoltaico ed un impianto idroelettrico implementabile nell'impianto Hub. La Tabella 6 illustra il bilancio energetico complessivo dell'Hub, considerando sia i consumi attuali (scenario H5A) che la potenziale produzione energetica derivante da entrambe le fonti rinnovabili.

Tabella 9- Scenario di consumo H5A con aggiunta di contributo da impianto idroelettrico e fotovoltaico in loco

H5A+FV+IDRO		
Consumo complessivo impianto	4818651	kWh/y
Consumo specifico impianto	0.26	kWh/m ³
Riduzione consumo energetico	915509	kWh/y
Riduzione percentuale consumo energetico	16.0	%
Produzione biogas	6728	Nm ³ /d
Autoproduzione energetica (Biogas)	4666189	kWh/y
Autoproduzione energetica (Idroelettrico)	219000	kWh/y
Autoproduzione energetica (Fotovoltaico)	50373	kWh/y
Percentuale di copertura consumo impianto	102%	

Considerando invece l'intero bacino composto da un Hub (H5A) e 15 Satelliti (S3B), ipotizzando cautelativamente che non vi siano opportunità in loco negli impianti satelliti di produrre energia rinnovabile, si è proceduto a sviluppare due scenari alternativi (ma a titolo esemplificativo e non esclusivo):

- 1) Realizzazione di un campo solare fotovoltaico di bacino;
- 2) Gestione integrata da parte del gestore dei depuratori anche del trattamento della FORSU generata nel bacino in un impianto di ultima generazione con primo stadio anaerobico termofilo di tipo semi-dry seguito da uno stadio di compostaggio.

Si riportano nelle Tabelle 7 e 8 i risultati dei due scenari di raggiungimento della neutralità energetica a scala di bacino.

Tabella 10- Produzione energetica dal parco fotovoltaico

Parametro	Valore	u.m.
Potenza di picco del sistema fotovoltaico	7803	kWp
Irraggiamento	1728.7	kWh/ m ²
Superficie moduli fotovoltaici	39015	m ²
Produzione energetica annuale	10259053	kWh/y

Tabella 11- Produzione energetica dell'impianto di biodigestione FORSU

Parametro	Valore	u.m.
FORSU prodotta dal bacino	38969	ton/y
Autoproduzione biometano	2653315	Nm ³ /y
Quantitativo stimato per autoconsumi	663329	Nm ³ /y
Energia ricavabile da impianto	19899861	kWh/y
Esubero autoproduzione	9641240	kWh/y

Risulta decisamente più interessante lo scenario 2) in quanto consente di fornire energia rinnovabile in quantità costante e ben superiore al fabbisogno per la neutralità energetica della rete di depuratori del bacino con un unico impianto centralizzato che produce anche compost di qualità per il territorio.

Per completare l'analisi degli impatti ambientali legati alla centralizzazione del trattamento dei fanghi, è stato effettuato un bilancio tra l'energia risparmiata grazie all'implementazione dei vari scenari tecnologici e le emissioni di CO₂ equivalente generate dal trasporto dei fanghi disidratati all'impianto hub. Considerando una flotta di mezzi composta da 15 camion diesel di media portata (7-12 ton) che effettuano un singolo trasporto settimanale con percorrenza di 100 km (andata e ritorno) per ciascun impianto satellite, le emissioni annue di CO₂ ammontano a 104.4 tonnellate. Questo valore, rapportato alla riduzione di emissioni di CO₂ derivante dalla diversione di carbonio tramite fanghi primari e dalle varie tecnologie, stimato a 4770.3 tonnellate di CO₂ equivalente/anno, evidenzia come il beneficio ambientale sia positivo.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non ci sono stati contributi da consulenze esterne alle attività svolte e sopra descritte.

9. Pubblicazioni scientifiche

Le simulazioni sono state completate nel mese di dicembre, data la numerosità degli scenari e la complessità delle filiere tecnologiche simulate. Pertanto, la valorizzazione scientifica del materiale prodotto avverrà nell'anno successivo.

10. Eventi di disseminazione

È stata presentata una comunicazione orale dal titolo *“Neutralità energetica degli impianti di depurazione a scala di bacino: simulazione di scenari tecnologici”* (Andreottola G., Barison G.) durante il convegno *“Obiettivo sostenibilità: tra innovazione e neutralità energetica del Servizio Idrico Integrato”*, tenutosi il 20 settembre 2024 a Bergamo (BG).