

AMBITO TERRITORIALE - GEBIET:



**PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO  
COMUNE DI MERANO  
AUTONOME PROVINZ BOZEN  
GEMEINDE MERAN**



COMMITTENTE - AUFTRAGGEBER:



39100 - BOLZANO Via Lungo Isarco Destro 21/A  
Tel: 0471 089500 - Fax: 0471 089599  
web: www.eco-center.it  
e.mail: info@eco-center.it

PROGETTAZIONE - PLANUNG:  
RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO:



**PROGETTO DEFINITIVO - ENDGÜLTIGES PROJEKT**

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO ANAEROBICO AD ALTO CARICO PER IL TRATTAMENTO DEI REFLUI INDUSTRIALI PRESSO IL DEPURATORE DELLE ACQUE REFLUE DI MERANO -  
ERRICHTUNG EINER ANAEROBEN HOCHLAST-ANLAGE FÜR DIE BEHANDLUNG DER INDUSTRIEABWÄSSER IN DER KLÄRANLAGE VON MERAN**

ELABORATO - PLANUNTERLAGE:  
Relazione tecnica di processo

NUM.

**B.1**

Il Progettista - Der Projektant:

**INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**  
Studio Cappella s.r.l.  
Ing. Alessandro Gregorig



Studio Cappella s.r.l.  
Ing. Pieraimondo Cappella



Studio Associato Gretzer & Partner - GMK  
Ing. Alfred Mick



Studio Cappella s.r.l.  
Ing. Federico Olivotti



ing. Marco De Simone



Alp Engineering s.r.l.  
Per. Ind. Mattia Betti



Rev.	Descrizione - Beschreibung	Redatto Erstellt	Verificato Überprüft	Approvato Genehmigt	Data Datum
A	1° Emissione - 1° Ausgabe	Cappella	Gregorig	Olivotti	30/08/2022
B	2° Emissione - 2° Ausgabe	Cappella	Gregorig	Olivotti	16/09/2022
C					

## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSE</b> .....	<b>2</b>
1.1	Oggetto.....	2
1.2	La documentazione preliminare al progetto definitivo .....	2
1.3	La situazione attuale.....	3
1.4	Target dell'intervento.....	4
1.5	Indirizzi di progettazione .....	5
<b>2</b>	<b>DATI DI PROGETTO</b> .....	<b>6</b>
2.1	Esame storico dei dati e parametri caratteristici .....	6
2.2	Dati di progetto .....	8
2.3	Indagini integrative Università di Verona.....	9
<b>3</b>	<b>TRATTAMENTI PRELIMINARI DEGLI SCARICHI</b> .....	<b>10</b>
3.1	Fasi del processo .....	10
3.2	Sollevamento iniziale ed equalizzazione degli scarichi industriali.....	11
3.3	Ripresa e grigliatura degli scarichi industriali .....	12
3.4	Raccolta, ripresa e filtrazione delle acque grigliate .....	14
3.5	Preparazione dell'alimentazione dei reattori anaerobici.....	15
3.6	Riscaldamento dell'alimentazione dei reattori anaerobici e recupero termico .....	16
<b>4</b>	<b>TRATTAMENTO ANAEROBICO IN REATTORI AD ALTO CARICO</b> .....	<b>20</b>
4.1	Generalità.....	20
4.1.1	Criteri di dimensionamento .....	20
4.1.2	Reattori anaerobici previsti.....	21
4.1.3	Elasticità funzionale ciclo termico – considerazioni tecnico economiche.....	25
4.1.4	Funzionamento dei reattori.....	25
4.1.5	Rendimenti depurativi attesi.....	26
4.1.6	Produzione fanghi.....	27
4.2	Stoccaggio e depurazione del biogas prodotto.....	28
4.2.1	Nuovo gasometro e torcia di emergenza .....	28
4.2.2	Torcia di emergenza .....	29
4.2.3	Filtrazione del biogas .....	30
4.2.4	Desolforazione.....	30
4.2.5	Deumidificazione .....	32
4.2.6	Eliminazione dei silossani .....	33
4.3	Cogenerazione.....	33
4.3.1	Emissioni in atmosfera .....	35

# **1 PREMESSE**

## ***1.1 Oggetto***

La presente relazione di processo si riferisce al progetto definitivo relativo all'installazione di un sistema di pretrattamento biologico anaerobico di acque reflue industriali provenienti da industrie alimentari e recapitate all'impianto di depurazione delle acque reflue urbane di Merano.

## ***1.2 La documentazione preliminare al progetto definitivo***

La presente relazione fa seguito al progetto preliminare predisposto dal sottoscritto raggruppamento in conformità al documento di indirizzo alla progettazione dell'impianto in oggetto

Si ricorda che l'impianto di depurazione delle acque reflue di Merano è ad oggi composto da una filiera di trattamento di tipo tradizionale (sistema biologico a fanghi attivi) in cui oltre al refluo di tipo civile (afflusso comunale) viene trattato anche il refluo di tipo industriale prodotto dagli stabilimenti limitrofi di Zipperle, che produce succhi e semilavorati della frutta, e del birrifico Forst.

Nel corso degli ultimi anni (2015-2020) è stato osservato un generale incremento dei carichi organici in ingresso all'impianto di depurazione, in particolare sulla linea comunale: tra i principali fattori sono stati individuati gli apporti legati al turismo e al connesso sviluppo delle unità produttive. Durante la stagione estiva sono stati inoltre registrati picchi di carico difficilmente sostenibili dal depuratore. In particolare, a partire dall'anno 2019 gli scarichi dello stabilimento Forst recapitati al depuratore di Merano sono stati caratterizzati da carichi organici ed idraulici in progressivo e considerevole aumento, causando condizioni di operatività critiche prive delle necessarie adeguate garanzie di sicurezza in caso di guasti o di attività di manutenzione.

Tra le soluzioni ricercate per una soluzione ottimale della problematica, sia dal punto di vista economico che del processo, è stata prescelta quella che prevede un efficace alleggerimento del carico industriale influente attraverso un sistema di trattamento anaerobico separato. Tale soluzione è peraltro confortata dal buon esito di analogo intervento applicato all'impianto di depurazione di Bronzolo.

Su tali presupposti è stato predisposto un progetto preliminare comprendente le seguenti fasi ed operazioni:

- a. ricezione, sollevamento iniziale ed accumulo dei reflui in vasca interrata del volume di ca. 5000 m<sup>3</sup>;

- b. sollevamento della portata equalizzata, grigliatura fine e filtrazione su tela del refluo da trattare;
- c. adattamento e sistemazione di un volume esistente da utilizzarsi come vasca di rilancio alle successive fasi processo;
- d. riscaldamento del refluo tramite idoneo sistema di scambio termico con recupero del calore del refluo trattato;
- e. sistema anaerobico ad alto carico e ad alto rendimento operante in condizioni mesofile in grado di trattare il refluo con elevato abbattimento del carico organico contenuto e rilevante produzione di biogas di buona qualità;
- f. stoccaggio del biogas prodotto in un nuovo gasometro e suo utilizzo, previo adeguato pretrattamento, in una rinnovata stazione di cogenerazione per la produzione combinata di energia elettrica e termica.

Sono infine previste le opere complementari ed accessorie, quali opere civili, impianti tecnologici, strumentazione, opere di supporto in totale integrazione con le unità esistenti (gasometro, torcia, ecc.).

### **1.3 La situazione attuale**

Come detto in precedenza, all'impianto di depurazione di Merano convergono le acque reflue drenate da un vasto bacino di contribuzione, connotate da un'elevata componente di reflui industriali, con un'importante frazione di origine agroalimentare.

Le acque di scarico complessivamente in arrivo al depuratore di Merano sono costituite da una frazione municipale e da una frazione industriale costituita sostanzialmente dagli effluenti della Zipperle (azienda alimentare conserviera) e della Forst (noto birrificio).

Attualmente lo scarico industriale della Zipperle perviene all'impianto tramite propria tubazione dedicata (PEAD DN600) mentre lo scarico della Forst recapita nel collettore urbano, un ovoidale 120/180.

Tutte le acque di scarico vengono attualmente trattate nell'esistente impianto di depurazione biologica, la cui potenzialità di 364.000 abitanti equivalenti ne viene sostanzialmente saturata. Da qui il programma del gestore Eco Center di attuare anche a Merano (come già realizzato all'impianto di depurazione di Bronzolo) un pretrattamento anaerobico separato degli scarichi industriali prima di riunirli alle acque reflue urbane per il trattamento biologico tradizionale aerobico nella linea acque del depuratore municipale.

Per la separazione dei reflui industriali da quelli urbani è in programma il prolungamento della sopra citata tubazione “industriale” DN600, attualmente a servizio della sola Zipperle, per ulteriori 5 km fino a raccogliere gli scarichi della birreria FORST.

Tale collegamento consentirà di disporre, al depuratore di Merano, di due stream separati: quello civile urbano che seguirà il processo di trattamento attuale e quello industriale (Zipperle + Forst) per il quale, come vedremo, si prevede un separato pretrattamento anaerobico mesofilo in opportuni reattori. I vantaggi conseguibili tramite tale soluzione sono, come detto, i seguenti:

- importante riduzione del carico gravante sulla linea di depurazione delle acque reflue urbane con recupero di un significativo margine di potenzialità;
- produzione di fanghi ridotta e di buona qualità;
- significativa produzione di biogas, utilizzabile in cogenerazione.

Tale procedura, già soddisfacentemente applicata dalla stessa Eco Center all'impianto di Bronzolo in analoga circostanza, costituisce il nucleo della presente progettazione.

### **1.4 Target dell'intervento**

Per i previsti incrementi produttivi delle Aziende citate, lo scarico complessivo si prevede possa arrivare a contributi giornalieri dell'ordine dei 8.000 - 9.000 mc/d di acque reflue con concentrazioni dell'ordine dei 4,5 g/l di COD, quindi con carichi organici che possono raggiungere i 36.000 - 40.500 kg/d di COD (pari a quasi 340.000 a.e.). Si tenga conto che la potenzialità dell'attuale impianto di depurazione è di 364.000 a.e..

Come indicato nel documento preliminare alla progettazione, data la consistenza del carico influente e date le concentrazioni in gioco, il gestore del servizio idrico Eco Center intende sottoporre, separatamente dai liquami urbani, queste acque di scarico ad un pretrattamento anaerobico ad alto carico in idonei reattori, in grado di operare una riduzione preventiva del carico influente, in termini di COD, dell'ordine dell'85%.

Il trattamento anaerobico presenta in effetti notevoli vantaggi: in primis, il citato importantissimo alleggerimento delle linee biologiche a fanghi attivi del depuratore; inoltre, la produzione “gratuita”, cioè con modesti assorbimenti energetici, di consistenti quantità di biogas che, tramite una rinnovata stazione di cogenerazione, possono produrre significative quantità di energia elettrica, in perfetta sinergia con quanto già avviene nel processo di trattamento dei fanghi di depurazione.

## ***1.5 Indirizzi di progettazione***

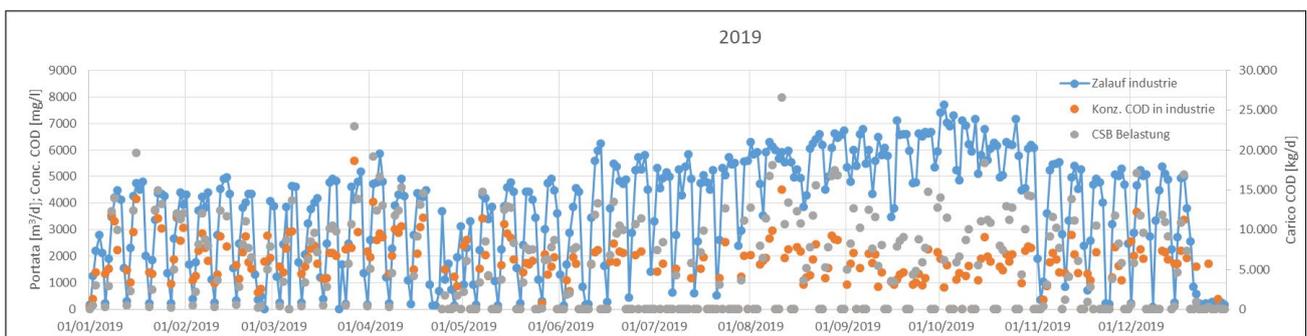
Come operato in occasione della progettazione preliminare, per la definizione dei processi e per la progettazione delle opere si farà qui riferimento ai testi più qualificati (Bonomo 2002; Memento Technique de l'Eau, Metcalf & Eddy) nonché agli studi specifici più qualificati sull'argomento, tra cui i documenti prodotti dai fornitori delle apparecchiature specifiche e soprattutto, delle risultanze delle prove specifiche di trattamento svolte in collaborazione con i tecnici dell'Università di Verona.

Si è fatto infine tesoro del patrimonio di dati disponibili presso Eco Center e, in particolare, delle informazioni dirette acquisite presso l'impianto di Bronzolo, recentemente dotato di un equipaggiamento tecnicamente e funzionalmente simile a quello che si va qui a progettare e descrivere.

## 2 DATI DI PROGETTO

### 2.1 Esame storico dei dati e parametri caratteristici

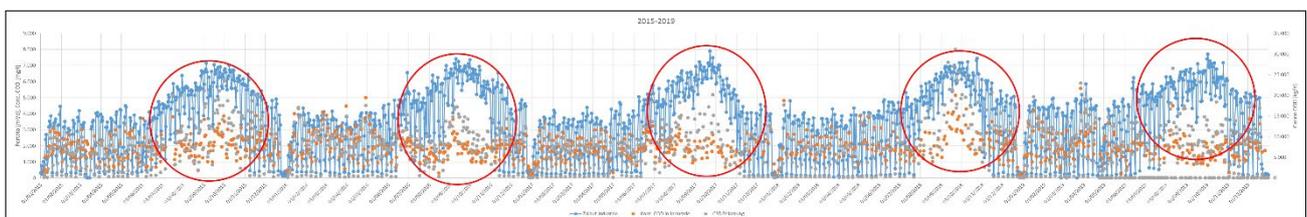
Per il refluo **Zipperle** è stato scelto l'anno **2019** come rappresentativo in quanto la ditta stessa ha comunicato che i valori raggiunti nella stagione 2019 sono da considerare un riferimento di tendenza. Le portate allo scarico sono monitorate ed i valori rilevati sono inseriti in un database disponibile per le stime del caso. Si riporta di seguito un'elaborazione relativa al 2019:



Elaborazioni analisi refluo Zipperle in ingresso impianto - anno 2019

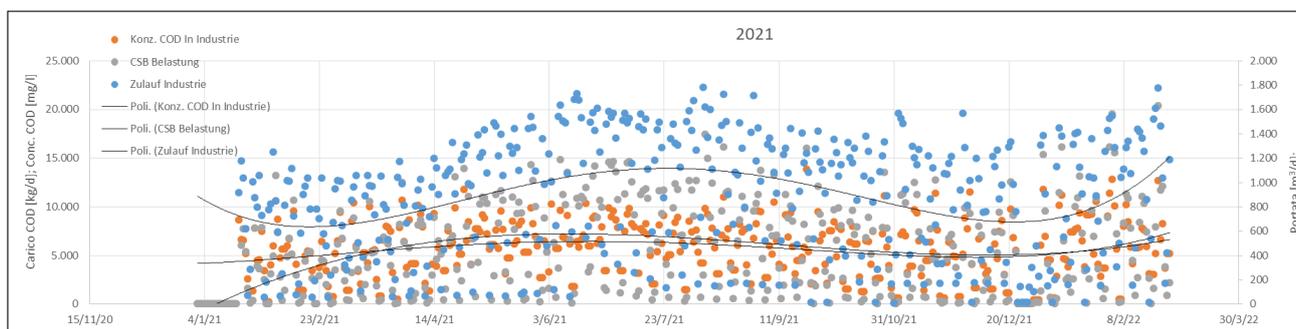
La tabellazione evidenzia la stagionalità dello scarico, per cui l'anno produttivo è suddiviso in due periodi fondamentali:

- il periodo di produzione normale (da novembre a luglio), con stabilimento attivo 5 giorni su 7, in cui i valori della portata giornaliera durante i fine settimana risultano significativamente ridotti;
- il periodo della vendemmia, in cui lo stabilimento è permanentemente attivo, con portate allo scarico significative anche nei fine settimana. Dall'esame delle tabellazioni relative all'anno di riferimento (2019), tale periodo ha inizio a fine luglio e termina a fine ottobre, quando si hanno le portate minime.



Elaborazioni analisi refluo Zipperle in ingresso impianto – anni 2015-2019 (con evidenziati i periodi di max carico)

Per quanto riguarda il refluo Forst, i dati disponibili sono più limitati. Vero è che considerando anche gli ultimi dati relativi al 2021 e le informazioni ricevute, rispetto al 2019 è prevedibile un incremento sia in termini di carico sia in termini di concentrazione, dovuto principalmente alla variazione delle tipologie di birra prodotte (00). Attualmente la consistenza di tale contributo è nettamente inferiore, circa un quinto (22%) del refluo Zipperle, per cui ai fini della stima globale, di rilevanza non sostanziale. Va però evidenziato che la consistenza dello scarico Forst appare in rapida crescita, soprattutto per quanto riguarda le concentrazioni (recentemente si sono rilevati tenori di COD di poco inferiori ai 10 g/l) e, di conseguenza, il carico organico influente. Si riporta di seguito un'elaborazione relativa al 2021:



*Elaborazioni analisi scarico Forst in uscita dallo stabilimento – anno 2021*

In tale ottica, le indagini e le elaborazioni effettuate hanno portato a definire i parametri iniziali di carico nei seguenti termini più avanti precisati.

Si osserva che durante la vendemmia non c'è sostanziale differenza tra giorni festivi e lavorativi, mentre fuori vendemmia si ha la pausa del fine settimana, durante il quale è comunque opportuno garantire un minimo di alimentazione alla flora batterica dei reattori. In realtà, una breve interruzione, anche totale, nell'immissione di carico organico non genera problemi al trattamento anaerobico, come confermato da diversi produttori interpellati.

In altre parole, la prevista vasca iniziale di omogeneizzazione dei reflui equalizzerà le variazioni qualitative e quantitative degli scarichi, assorbendo le punte giornaliere di portata e provvedendo, ove necessario, ad un minimo di alimentazione per la sopravvivenza dei reattori durante le pause (es. fine settimana). In realtà, come detto, la configurazione della parte anaerobica è in grado di garantire comunque la sufficiente elasticità di funzionamento.

Più significativa è la questione delle dispersioni termiche. Come vedremo, si prevede un trattamento anaerobico a media temperatura (34°C), mantenuta tramite idonei controlli attingendo, in parte, ai servizi termici d'impianto. Per limitare per quanto possibile il ricorso a fonte esterna (ancorché, come vedremo, strettamente legata a questa parte di processo) va evitato che il calore contenuto nelle acque di scarico confluenti (Zipperle T=30° ma soprattutto della Forst T=70°C) vada disperso, soprattutto nelle stagioni fredde. Per tale motivo ne è prevista la collocazione totalmente interrata e coperta.

## 2.2 Dati di progetto

Diversamente da quanto previsto nel precedente progetto preliminare, la temperatura di processo si prevede ora mantenuta al valore ottimale di 34°C durante tutto l'anno. Ciò consente, come vedremo, di conseguire i vantaggi di una temperatura ottimale in campo mesofilo, quali più elevati rendimenti di abbattimento del carico organico influente (con alleggerimento delle linee a fanghi attivi e relativo risparmio), e conseguente maggior produzione di biogas da utilizzare in cogenerazione. Anche il fabbisogno termico integrativo (comunque necessario) rimane sostanzialmente invariato e rientra nella quota di energia termica cogenerata relativa al biogas "proprio", cioè quello prodotto dal processo di cui trattasi. L'energia elettrica cogenerata, fatto salvo il modesto assorbimento dalle apparecchiature d'impianto, viene in massima parte resa disponibile al sistema di gestione generale dell'impianto e non impiegata, se non in modesta parte, nel trattamento anaerobico.

Sulla base di quanto sopra, i dati fondamentali di progetto inerenti l'intervento di cui trattasi, risultano i seguenti:

<b>ciclo anaerobico ad alto carico</b>	u.m.	inverno	estate	Max atteso
portata giornaliera ingresso	mc/d	6.000	8.000	9.000
concentrazione COD	g/l	4,5	4,5	4,5
carico giornaliero COD	kg/d	27.000	36.000	40.500
portata oraria media	mc/h	250	333	375
tempo acidificazione stimato	h	18	14	12
volume acidificazione	mc	4.500	4.500	4.500
temperatura di processo	°C	34	34	34

### Nota importante

Dalle informazioni assunte e dalle indagini effettuate (v. anche progetto preliminare) si sono rilevate situazioni di particolare carico, carichi di punta che, ancorché assai rare, sono state comunque prese in considerazione come carichi da sottoporre al trattamento di cui trattasi.

Nell'elaborazione della presente fase definitiva della progettazione, in particolare nella ricerca di fornitori delle apparecchiature relative al trattamento anaerobico dello scarico industriale, si è riscontrato che la soluzione tecnicamente ed economicamente più conveniente prevede la realizzazione di due reattori, con una potenzialità complessiva di 8.000 mc/d in termini di portata influente e di 36.000 kg/d di COD in termini di carico organico da trattare anaerobicamente.

Questo carico, il cui trattamento viene garantito dai costruttori, rappresenta un 11% in meno rispetto al target iniziale stabilito, mentre il raggiungimento del target iniziale con tutte le garanzie dei costruttori richiederebbe la realizzazione del terzo reattore, in effetti previsto con tutte le predisposizioni del caso, ma da realizzarsi con altro successivo intervento al manifestarsi di reali e consistenti necessità depurative.

La realizzazione del terzo reattore è apparsa irragionevole, per i seguenti motivi:

- il maggior costo di installazione, elevato, risulta sproporzionato alla (incerta) necessità prestazionale;
- la situazione di carico eccedente si verifica assai raramente;
- un eventuale sovraccarico dell'11% (rispetto al dato di garanzia) non dovrebbe creare problemi di sorta (forse una lieve diminuzione di rendimento) come confermato da diverse fonti e, in via riservata ed informale, dagli stessi produttori;
- esiste sempre la possibilità di uno sfioro di alleggerimento nell'impianto comunale.

Quanto sopra considerato, si è confermata la configurazione dei 2 reattori.

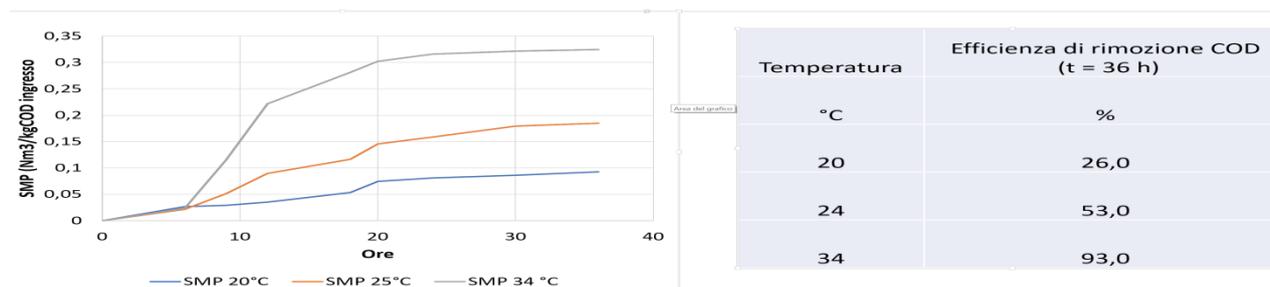
Le due situazioni estive nelle ipotesi sopra indicate sono evidenziate nella tabella precedente.

Nelle tabellazioni successive, per semplicità espositiva e sulla base delle considerazioni di cui sopra, si riporteranno di norma solamente i dati relativi al carico di target.

### 2.3 Indagini integrative Università di Verona

L' idoneità dello scarico industriale, opportunamente ricostruito, alla tipologia di trattamento e le prestazioni attese dal trattamento anaerobico, sia in termini depurativi che in termini di produzione di biogas, sono state esaminate dai tecnici dell'Università di Verona, all'uopo incaricati. Dei risultati, in particolare dell'ottima trattabilità dello scarico ai fini del trattamento anaerobico, si è tenuto debito conto, come più avanti evidenziato.

#### Curve di metanazione



### 3 TRATTAMENTI PRELIMINARI DEGLI SCARICHI

#### 3.1 Fasi del processo

Come più avanti vedremo nel dettaglio, la nuova stazione di trattamento anaerobico comprende le seguenti fasi funzionali ed operative:

- ripresa delle acque reflue industriali da trattare e sollevamento iniziale alla vasca di omogeneizzazione; sfioro con recapito alla linea acque esistente delle portate di punta eccezionali eccedenti le quantità ammissibili e non più accettabili nella vasca affiancata;
- omogeneizzazione in una vasca in c.a. di nuova costruzione, avente anche funzione di preacidificazione dello scarico, affiancata da una vasca di contenimento delle portate di punta eccezionali eccedenti le quantità ammissibili; in tale vasca troveranno recapito anche alcune acque contenenti nutrienti provenienti dalla linea “comunale” (es. acque di supero da ispessimento e disidratazione fanghi);
- ripresa delle acque equalizzate e trattamento di grigliatura fine in rotostacci tipo Huber, Savi o equivalenti;
- raccolta delle acque grigliate in una vasca in c.a esistente (ex alto carico);
- ripresa, neutralizzazione, flocculazione e filtrazione delle acque su filtri a tela tipo Salnes o equivalenti;
- raccolta delle acque filtrate in una seconda vasca in c.a esistente (ex alto carico) e eventuale dosaggio di nutrienti in quanto necessari;
- ripresa delle acque con pompe distinte per l’invio al trattamento anaerobico in appositi reattori, come più avanti descritti;
- riscaldamento delle acque di alimentazione dei reattori anaerobici con recupero di energia termica dall’effluente caldo e controllo finale del pH;
- trattamento anaerobico mesofilo nei reattori di cui sopra, recupero termico dall’acqua trattata e trasferimento alla linea acque del settore acque urbane; trasferimento dei fanghi prodotti all’impianto esistente (sedimentazione primaria e quindi alla linea fanghi esistente).

Il trattamento anaerobico, oltre ad operare una rilevante riduzione del carico organico influente senza significativi consumi di energia, comporta una altrettanto rilevante produzione di gas biologico, che sarà sottoposto alle seguenti operazioni:

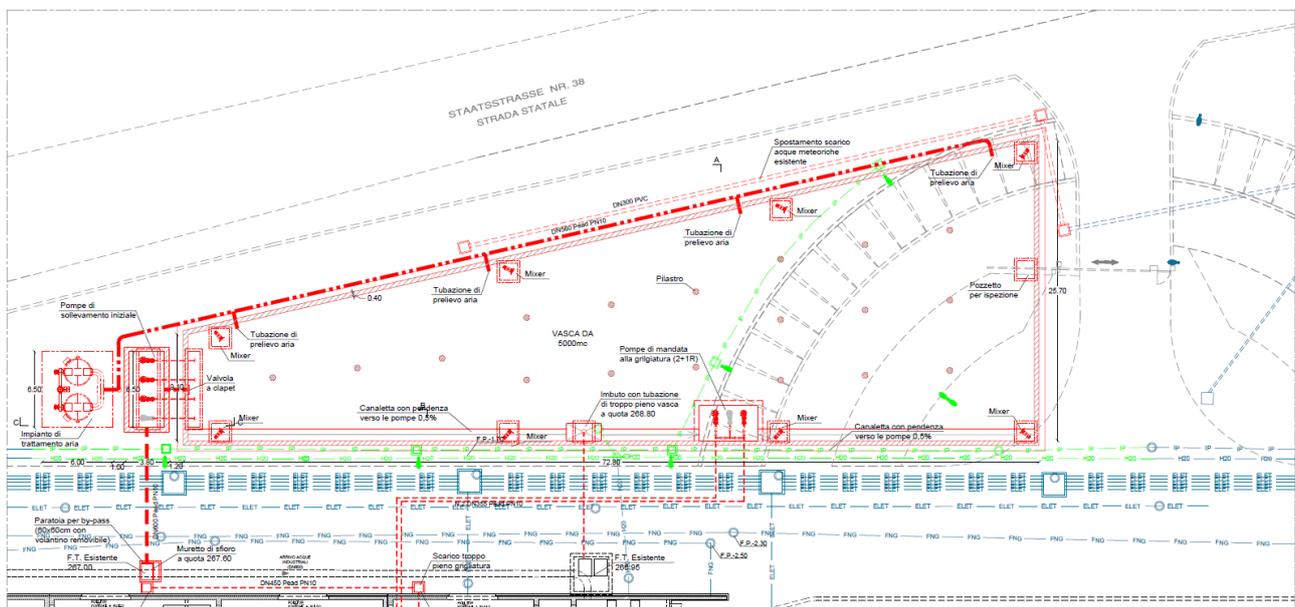
- filtrazione preliminare grossolana su ghiaia fine su filtri a candele ceramiche;

- stoccaggio in un gasometro a tripla membrana di nuova installazione, nel quale troverà recapito anche il biogas prodotto dalla linea fanghi del depuratore esistente;
- prelievo e trattamento di finitura del gas biologico per l'impiego in cogenerazione; fiaccola di emergenza per lo smaltimento del biogas in eccesso;
- filtrazione, desolfurazione, deumidificazione ed eliminazione dei silossani dal biogas prelevato dal gasometro e collegamento ai gruppi di cogenerazione; recupero della pressione del biogas tramite apposite soffianti;
- recupero di energia elettrica e termica in gruppi di cogenerazione di nuova installazione.

### 3.2 Sollevamento iniziale ed equalizzazione degli scarichi industriali

Le acque di scarico industriali vengono raccolte in un pozzetto di sollevamento iniziale comprendente 3 (+1 predisposizione) elettropompe sommergibili per il caricamento della vasca di omogeneizzazione, di forma trapezoidale allungata.

Ciascuna delle elettropompe è in grado di sollevare una portata massima unitaria di 300 m<sup>3</sup>/h ciascuna, portata variabile tramite inverter, con una prevalenza di 8 m.



Vasca di omogeneizzazione

La portata in arrivo viene quindi sollevata e trasferita in una vasca in c.a. completamente interrata e coperta, di circa 5.000 m<sup>3</sup> di capacità utile, per l'accumulo e l'equalizzazione delle acque destinate al pretrattamento anaerobico. Tale capacità consentirà un significativo livellamento delle variazioni

qualitative e quantitative del liquame influente, da cui un prelievo pressoché costante dell'acqua da trattare, sia in termini di portata che in termini di carico organico contenuto, con significativo vantaggio di tutte le fasi di processo costituenti il ciclo tecnologico dell'impianto (pompaggi, dosaggi di reattivi, filtrazione, trattamento anaerobico, apporto alla linea acque del depuratore comunale).

Dato il tempo di ritenzione, in tale vasca avrà luogo un buon completamento del processo di acidificazione; peraltro, come rilevato nel corso dei prelievi per le prove di trattamento, lo scarico influente presenta un pH già nettamente acido, spesso inferiore a 5, il che denota un processo di acidificazione già avvenuto e di difficile prosieguo (il basso valore del pH contrasta l'opera dei batteri acidificanti). Tale fenomeno risulterà fortemente attenuato durante la stagione invernale, quando però, date le minori portate in gioco, i tempi di ritenzione si allungano di un buon 35%.

Comunque, oltre a contribuire ad un buon completamento del processo di acidificazione, il volume previsto potrà altresì garantire una alimentazione del sistema sostanzialmente costante anche durante i periodi "fuori vendemmia", quando l'attività produttiva si interrompe nei fine settimana, al di là dell'ovvia compensazione delle escursioni giornaliere.

La superficie disponibile costringe a conferire alla vasca una forma piuttosto allungata, ma di questo si è tenuto conto nel posizionamento della condotta d'arrivo e delle pompe di sollevamento della portata media (pressoché costante) per il trasferimento alla successiva fase di grigliatura. La vasca sarà dotata di idoneo sistema di miscelazione interna, comprendente 8 mixer da 5,5 kW ciascuno.

### **3.3 Ripresa e grigliatura degli scarichi industriali**

Le acque reflue raccolte, equalizzate, omogeneizzate, addizionate degli eluati provenienti dalla linea fanghi comunale, sottoposte quindi ad un tempo di ritenzione utile anche a completare il processo di acidificazione preliminare, vengono riprese da un sistema di sollevamento comprendente 2 (+ 1 predisposizione) elettropompe centrifughe aventi ciascuna le seguenti caratteristiche:

Portata max	m <sup>3</sup> /h	400
Prevalenza	m	7
Motore di comando	kW	13,5
Comando	inverter	

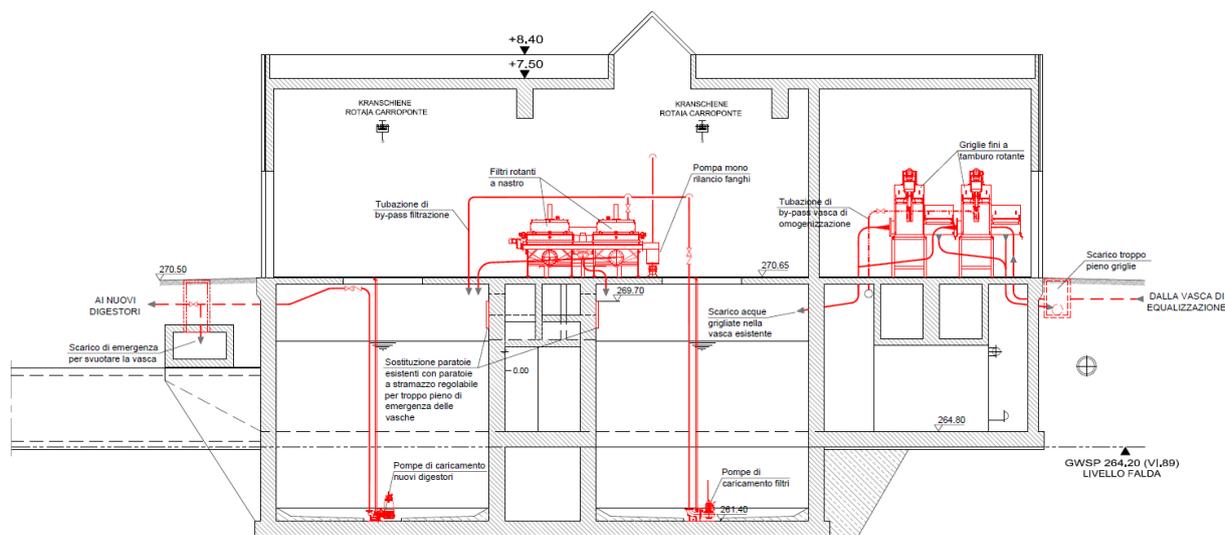
Segue una sezione di grigliatura fine, comprendente 2 rotostacci, di cui uno di riserva, completi di coclea di asporto e compattazione integrata del grigliato, aventi ciascuno le seguenti caratteristiche:

Tipo di filtrazione	foro circolare
Spaziatura di filtrazione	2 mm
Portata massima acque reflue	487 m <sup>3</sup> /h
Larghezza canale	1.000 mm
Altezza canale	1.200 mm
Livello massimo refluo a monte	675 mm
Diametro del tamburo di filtrazione	950 mm
Altezza di scarico da fondo canale	2.547 mm
Inclinazione	35 °
Grado di compattazione	35 %
Diametro tubo di trasporto	273 mm
Bocchello di ingresso	500 DN
Bocchello di scarico	500 DN
Motorizzazione ad assi paralleli	Nord Getriebe GmbH
Potenza installata	1,1 kW
Classe di protezione	IP 55
Classe isolamento	F
Classe di protezione termica	B

Esecuzione interamente in AISI 304L equivalente o superiore, compresa la coclea di trasporto con albero, sottoposta per intero, prima dell'assemblaggio, a decapaggio acido a bagno, seguito da passivazione in atmosfera controllata.

Ogni macchina comprende:

- contenitore in acciaio inossidabile trattato come l'intera macchina, con flangia e cartella DN 500 per l'afflusso dei liquami, flangia e cartella DN 500 per il deflusso;
- dispositivo per la pulizia della griglia ed il lavaggio del grigliato dalle sostanze organiche, costituito da barra longitudinale forata;
- dispositivo automatico per il lavaggio della zona di compattazione;
- scarico delle acque provenienti dalla zona compattazione entro il contenitore;
- quadro elettrico unico di comando e controllo in acciaio inox a bordo macchina;
- n. 2 compressori e relativi accessori per la gestione del sistema pneumatico di rilevazione del livello tramite insufflazione.



Grigliatura e filtrazione - sezione

### 3.4 Raccolta, ripresa e filtrazione delle acque grigliate

La portata dello scarico grigliato proveniente dalla vasca di accumulo esistente e destinata alla filtrazione preliminare viene ripresa da un sistema di sollevamento comprendente 2 (+ 1 predisposizione) elettropompe centrifughe aventi ciascuna le seguenti caratteristiche:

- Portata max  $\text{m}^3/\text{h}$  200
- Prevalenza  $\text{m}$  7
- Motore di comando  $\text{kW}$  7,5
- Comando inverter

Sulla tubazione dell'acqua sollevata avverrà l'opportuno condizionamento, tramite dosaggio di reattivi, finalizzato alla coagulazione del particolato colloidale presente, con formazione di fiocchi, per l'ottimizzazione della successiva fase di filtrazione su tela, tramite una coppia di filtri a tela tipo Salnes (o equivalenti), con maglie da 350 micron, atti a trattare da  $220 \text{ m}^3/\text{h}$  ciascuno con 1000 ppm di solidi sospesi e 10 ppm di polielettrolita, a  $640 \text{ m}^3/\text{h}$  ciascuno con 100 ppm di solidi sospesi e 10 ppm di polielettrolita, come sotto descritto. La fase liquida, alleggerita di una certa parte del proprio carico organico, viene trasferita in una seconda vasca di accumulo, mentre i fanghi separati saranno uniti ai fanghi primari della linea "municipale" e avviati quindi alla digestione.

Ogni unità filtrante sarà costituita da un filtro rotante a nastro, un sistema di rimozione dei fanghi a raschietto, un sistema di lavaggio ad alta pressione, un trasmettitore del livello dell'acqua e una raccolta integrata dei fanghi. Caratteristiche della macchina:

- serbatoio del filtro e telaio: Acciaio inossidabile 316L
- evacuazione dei fanghi con vite in acciaio al carbonio
- trogolo/coperchio: Acciaio inossidabile 316L

- dimensione delle maglie: 350 micron
- dimensioni (L x W x H): 2950 x 20500 x 1500 mm
- collegamenti idraulici (acqua fredda a bassa pressione al filtro - 3/4") e pneumatici 4"

Ogni filtro sarà installato in modo da consentire l'isolamento e lo svuotamento della scatola per la manutenzione.

L'ammissione alla filtrazione è preceduta da una coagulazione - flocculazione con polielettrolita, tramite una stazione comprendente:

- serbatoio di distribuzione in ingresso, agitatore ad elica, 2 sensori di livello idrostatici
- n. 2 paratoie automatiche a comando pneumatico, esecuzione in acciaio inox 316L, 1200 x 600mm
- n. 2 elettrosoffianti a lobi da 7,5 kW con attenuazione del rumore per il funzionamento del dispositivo di pulizia del coltello d'aria (AIR KNIFE) del sistema di pulizia del nastro
- n. 2 valvole di drenaggio pneumatiche DN100
- n. 1 pompa alta pressione da 7 kW per la pulizia della tela del filtro
- n. 1 coclea inox per evacuazione fanghi
- n. 1 pompa mono per il trasferimento dei fanghi di filtrazione alla vasca di accumulo dei fanghi biologici preispessiti
- n. 2 pannelli di comando e controllo, esecuzione acciaio inox IP65, per l'alimentazione, monitoraggio e controllo delle singole unità.

### 3.5 Preparazione dell'alimentazione dei reattori anaerobici

Le acque di scarico filtrate vengono quindi raccolte in una vasca esistente (ex alto carico) da 600 mc (anche questa utile al completamento dell'acidificazione) e da questa riprese su due linee separate per il trasferimento al trattamento anaerobico ad alto carico. Nella vasca avrà luogo anche la riequilibratura della composizione ideale dello scarico da sottoporre a trattamento anaerobico, tramite dosaggio di urea e di acido fosforico, ai fini di mantenere i corretti rapporti tra carbonio organico e nutrienti, cioè COD:N:P = 350:5:1 (Bonomo).

<b>CONSUMO REATTIVI (350:5:1)</b>	u.m.	inverno	Estate (*)
portata giornaliera ingresso	mc/d	6.000	9.000
concentrazione COD	g/l	4,5	4,5
carico giornaliero COD	kg/d	27.000	40.500
COD giornaliero abbattuto	kg/d	24.300	34.830
azoto necessario al processo	kg/d	347	498
fabbisogno urea (46,6% N)	kg/d	745	1.068
pari a soluz. Commerciale 40%	kg/d	1.862	2.669
Fosforo necessario al processo	kg/d	69	100
pari ad acido fosforico (27% P)	kg/d	257	369
pari a soluzione commerciale 85%	kg/d	303	434

Fabbisogno totale nutrienti, al lordo del pre contenuto e al lordo dell'extra carico max estivo (\*)

I valori indicati nella tabella indicano le quantità totali dei nutrienti necessari nelle condizioni di massimo carico ed in assenza di tali sostanze nello scarico originario. In fase operativa, oltre a quantificarli in misura proporzionale al carico effettivo, si dovrà anche tener conto di tutti i contributi, sia delle (modeste) quantità contenute nelle acque reflue stesse, sia del previsto contributo delle acque di supero delle centrifughe (ricche di nutrienti), che saranno recapitate nella prima vasca di accumulo e omogeneizzazione. Per effetto di tali contributi, il fabbisogno di reattivi integrativi ne viene di conseguenza ridotto.

Per il dosaggio delle soluzioni dei nutrienti (urea e acido fosforico) e della soda caustica di controllo del pH (ad inseguire il valore di neutralità richiesto dal reattore) si prevedono stazioni di stoccaggio e dosaggio di tipo tradizionale (serbatoio con soluzione commerciale, pompe dosatrici e accessori di rito). Anche in questo caso, le capacità di dosaggio indicate in tabella (estate) sono commisurate alla potenzialità di target di 40.500 kg/d (\*), sufficienti quindi a coprire anche l'eventuale sovraccarico (11%) sui reattori anaerobici, extra garanzia prestazionale dei fornitori ed evidenziato con l'asterisco.

La temperatura dell'acqua in ingresso a ciascun reattore sarà poi portata al valore di processo e mantenuta tramite un sistema di scambio termico come più avanti dettagliatamente descritto, fermo restando che, per quanto riguarda le modalità di riscaldamento, si tenderà al massimo recupero dell'energia termica già contenuta originariamente nelle stesse acque di scarico.

### ***3.6 Riscaldamento dell'alimentazione dei reattori anaerobici e recupero termico***

Come detto, la temperatura dell'acqua in ingresso a ciascun reattore sarà poi portata al valore di processo e mantenuta tramite un sistema di scambio termico che, per le rilevanti potenze in gioco, massimizza i possibili recuperi energetici propri e, limitatamente alla quota corrispondente alla produzione propria di biogas, l'energia termica prodotta in cogenerazione.

Tale operazione di riscaldamento dell'acqua da trattare avverrà, per ciascun reattore, in due stadi:

- a) recupero dell'energia termica dall'effluente trattato, in apposito scambiatore recuperatore;
- b) riscaldamento alla temperatura operativa tramite il sistema termico d'impianto con acqua calda a 75° in un secondo scambiatore.

Si ricorda che la produzione di biogas derivante dal processo consente, in cogenerazione, di disporre di energia termica nei termini sopra indicati (al di là della produzione di FM che non si tocca). Vale a dire che la maggior potenza termica in cogenerazione corrispondente alla quota di biogas "proprio" è tale da consentire, in ogni stagione, il necessario innalzamento integrativo finale (circa 5°C) della temperatura al valore di processo.

I dati di possibile metanazione come rilevati dalle incoraggianti prove effettuate dall'Università di Verona sono i seguenti:

<b>PROVE METANAZIONE UNIVR</b>		
prova di metanazione SMP	mc/kg	0,325
corrispondente a biogas 65%	mc/kg	0,5
PCI	kWh/mc	6,46

I rendimenti medi termico ed elettrico dei gruppi di cogenerazione individuati sono i seguenti:

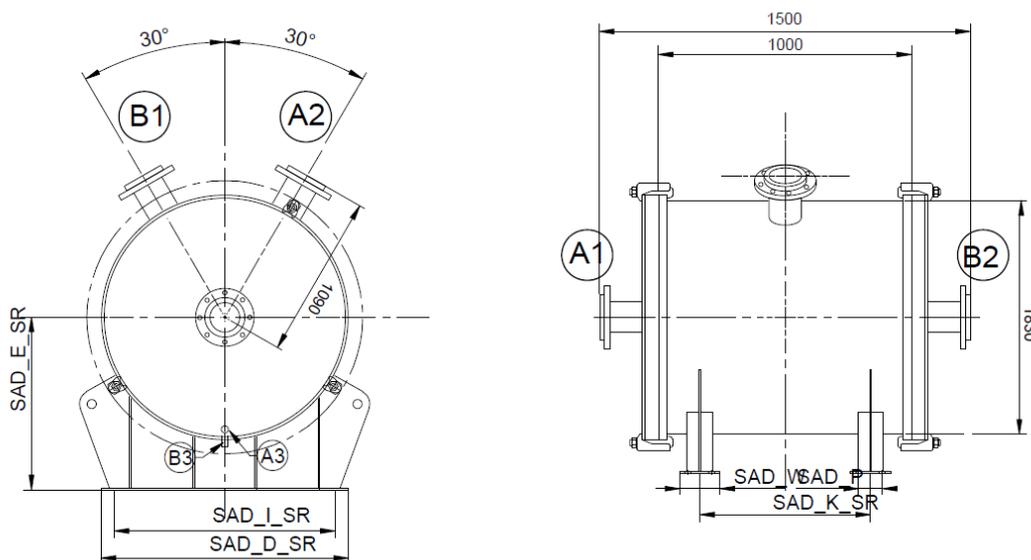
<b>Rendimenti %</b>	<b>cogeneratore</b>
<b>elettrico</b>	<b>0,4</b>
<b>termico</b>	<b>0,47</b>
<b>TOTALE</b>	<b>0,878</b>

e, sotto, la corrispondente potenza specifica in kWh per mc di biogas in alimentazione.

La seguente tabella riassume il quadro energetico termico generale:

<b>OTTIMIZZAZIONE TERMICA</b>		<b>inverno</b>	<b>estate (*)</b>	<b>lim.garantito</b>
portata giornaliera	mc/d	6.000	9.000	8.000
portata media oraria	mc/h	250	375	333
concentrazione	kg/mc	4,5	4,5	4,5
carico giornaliero	kg/d	27.000	40.500	36.000
volume totale reazione anaerobica	mc	1870	1870	1870
tempo di ritenzione ( <b>HRT</b> )	h	7,48	4,99	5,61
carico volumetrico	kg/d/mc	14,4	21,7	19,3
abbattimento COD alla T operativa	%	85	85	85
COD giornaliero abbattuto	kg/d	22.950	34.425	30.600
produzione specifica biogas	<b>mc/kgCODelim</b>	0,5	0,5	0,5
produzione giornaliera biogas	mc/d	11.475	17.213	15.300
pari a produzione oraria	mc/h	478	717	638
eff. Termica cogeneratori	kWh/mc	3,01	3,01	3,01
potenza termica propria cogenerata	kWt	1.439	2.159	1.919
pari a	MCal/h	1.238	1.857	1.650
perdite per dispersioni	MCal/h	41,7	0	0
restano nette	MCal/h	1.196	1.857	1.650
innalzamento termico portata	°C	4,8	5,0	5,0
<b>processo termico</b>		<b>inverno</b>	<b>estate (*)</b>	<b>lim.garantito</b>
temperatura in arrivo	°C	17	24	24
temperatura operativa	°C	34	34	34
salto termico totale	°C	17	10	10
innalzamento T scambiat. Finale	°C	4,8	5,0	5,0
resta T da recuperare	°C	12,2	5,0	5,0

energia termica recuperatore	kCal/h	3.054.026	1.893.488	1.683.101
pari a kWt	kWt	3.551	2.202	1.957
T necessaria uscita recuperatore	°C	29,2	29,0	29,0
T restituzione alla depurazione	°C	21,8	29,0	29,0
innalzamento T recuperatore	°C	12,2	5,0	5,0
calore scamb. nel recuperatore	Mcal/h	3.054	1.893	1.683
pari a	kW	3.551	2.202	1.957
coeff. Scambio termico ca.	W/mq°K	1.249	1.249	1.249
delta T scambio nel recup.		4,8	5,0	5,0
superficie di scambio recup.	mq	511	306	272



Ricordando che la portata totale da trattare è suddivisa su due linee uguali parallele, per cui i dati riportati per singolo scambiatore vanno raddoppiati, le caratteristiche unitarie degli scambiatori sono le seguenti:

<b>RECUPERATORE A SPIRALE CUSTOMIZZATO</b>					
<b>1H-L-1T</b>		inverno	inverno	estate	estate
		lato freddo	lato caldo	lato freddo	lato caldo
portata	mc/h	125	125	187	187
temperatura ingresso	°C	17	34	34	24
temperatura uscita	°C	29,2	21,7	29	29
perdita di carico	kPa	60,2	60,2	125	128
potenza termica scambiata	kWt	1771	1771	1083	1083
LMTD	°K	4,8	4,8	5	5
superficie di scambio	mq	255,5	255,5	255,5	255,5
coeff. di scambio a scamb. Pulito	W/mq/°K	1469	1469	1947	1947
coeff. di scambio a scamb. In uso	W/mq/°K	1456	1456	914,1	914,1
sezione di passaggio	mm	18	18	18	18
flangia	DN	200	200	200	200

La temperatura d'uscita lato freddo è quella dell'effluente pretrattato inviato alla depurazione biologica a fanghi attivi. Le portate indicate si riferiscono ad una sola linea e vanno quindi raddoppiate.

<b>RISCALDATORE A SPIRALE CUSTOMIZZATO</b>		<b>Caratteristiche prestazionali</b>			
B) 1H-L-1T		inverno	inverno	estate	estate
		<b>lato freddo</b>	<b>lato caldo</b>	<b>lato freddo</b>	<b>lato caldo</b>
portata	mc/h	125	42,6	187	63,7
temperatura ingresso	°C	29	75	29	75
temperatura uscita	°C	34	60	34	60
perdita di carico	kPa	20,7	35	46,3	77,5
potenza termica scambiata	kWt	722	722	1080	1080
LMTD	°K	35,8	35,8	35,8	35,8
superficie di scambio	mq	8,8	8,8	8,8	8,8
coeff. di scambio a scamb. Pulito	W/mq/°K	2847	2847	3415	3415
coeff. di scambio a scamb. In uso	W/mq/°K	2282	2282	3413	3413
sezione di passaggio	mm	16	5	16	5
flangia	DN	150	80	150	80

## 4 TRATTAMENTO ANAEROBICO IN REATTORI AD ALTO CARICO

### 4.1 Generalità

Le acque reflue, omogeneizzate, filtrate, neutralizzate, chimicamente riequilibrate e riscaldate a 34°C saranno quindi trasferite, separatamente, ai due reattori per il previsto trattamento biologico anaerobico ad alto carico modulare, impostato su due linee di trattamento.

I due reattori lavoreranno con continuità tutto l'anno, in condizioni operative ottimizzate dal sistema di controllo delle portate, delle temperature e del pH.

#### 4.1.1 Criteri di dimensionamento

Il dimensionamento della stazione, con il conforto delle prove di trattamento dei reflui specifici, condotte dai consulenti tecnici dell'Università di Verona, è basato sui dati riportati nella letteratura tecnica accreditata e sulla base dell'esperienza dei fornitori dei reattori.

Per quanto riguarda la letteratura, si riportano qui di seguito i principali criteri di dimensionamento ricavati dal Bonomo.

I parametri applicabili per processi di pretrattamento mesofilo di scarichi industriali sono riportati nella seguente tabella:

Parametro	Campo mesofilo (scarichi industriali)
Concentrazione in alimentazione (g COD L <sup>-1</sup> )	5 - 10
Temperatura di esercizio (°C)	32 - 36
Carico volumetrico (kg COD m <sup>-3</sup> giorno <sup>-1</sup> )	12 - 20
Velocità ascensionale (m h <sup>-1</sup> )	< 1,2
Tempo di residenza idraulico (h)	> 6
Rimozione COD (%)	75 - 90

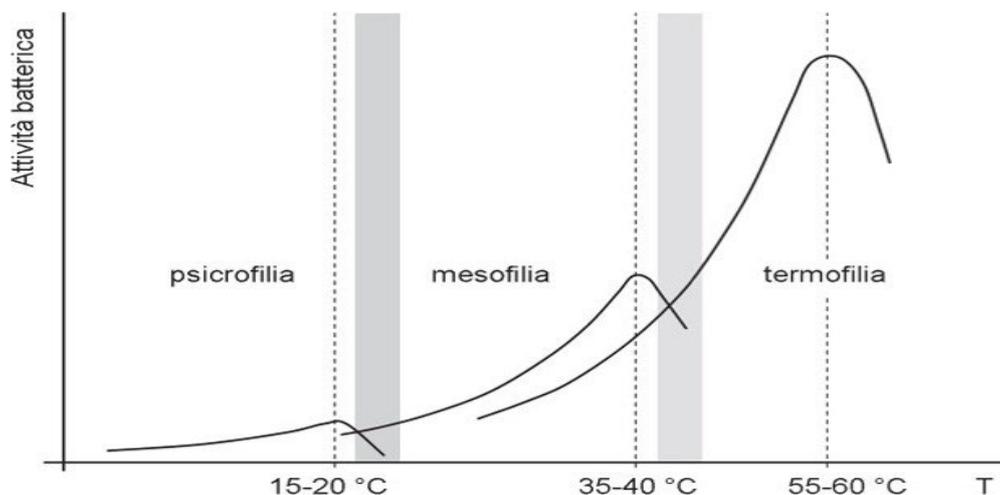
Bonomo recita inoltre quanto segue.

Per reflui concentrati (5-10 g/l COD) il calcolo va condotto in base al carico volumetrico. In campo mesofilo, per filiere che comprendano una fase di preacidificazione, carichi dell'ordine di 12-20 kg/m<sup>3</sup>\*d COD (crescenti con l'aumentare della frazione di acidi volatili nell'influente) portano ad efficienze di rimozione tra il 75 e il 90 %.

L'HRT sarà compreso tra 4 e 12 h.

In ciascun campo operano popolazioni batteriche specificatamente adattate al corrispondente intervallo di temperatura e incapaci di operare con efficacia al di fuori di esso. Scelto il campo

operativo, va quindi posta cura di limitare le oscillazioni entro un intervallo di  $\pm 3$  °C. Per valori di temperatura a cavallo dei campi sopraindicati corrispondono condizioni operative meno favorevoli.



Effetto della temperatura sulle cinetiche di degradazione anaerobica. Sono indicati gli intervalli ottimali di lavoro e, in grigio, gli intervalli in cui il processo non è ottimizzato. In campo mesofilo il processo è più stabile (Bonomo).

Ulteriori informazioni sul processo sono riportate sul manuale Degrémont (Memento Technique de l'Eau), quali:

- il processo è poco sensibile alle variazioni di carico (acque diluite da 6 a 15 kgCOD/m<sup>3</sup>\*d, altrimenti da 3 a 15 kg/m<sup>3</sup>\*d);
- i rendimenti di abbattimento del COD vanno dal 65% (distillerie di melassa) ad oltre il 90% (sughi zuccherini di barbabietola);
- la concentrazione fanghi nel reattore può variare da 3 a 5 kg/mc;
- la temperatura ottimale è di 35°C $\pm$ 2°C;
- AGV (acidi grassi volatili) normalmente < 500 mg/l;
- pH = 7;
- produzione di gas attesa circa 0,4 Nm<sup>3</sup>/kgCOD eliminato.

Come confermato dalle prove di trattamento effettuate, il processo qui previsto rientra nelle condizioni ideali per la massima efficienza ed attività.

#### 4.1.2 Reattori anaerobici previsti

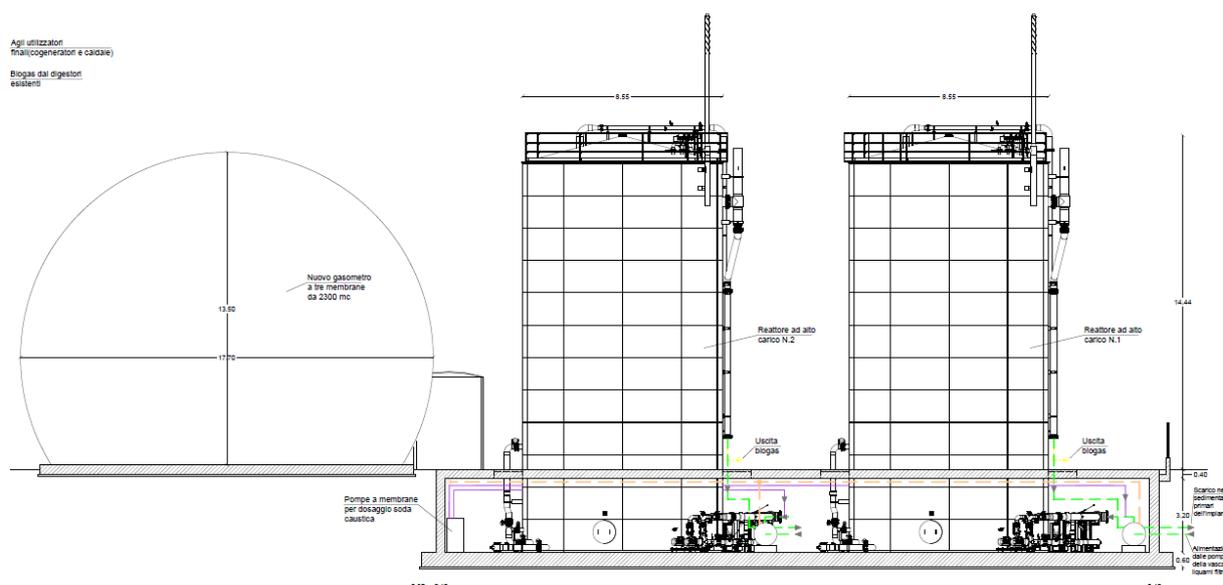
Il refluo da trattare, equalizzato dal bacino di accumulo previsto, sarà trasferito tramite un nuovo gruppo di pompaggio, ai 2 reattori anaerobici a letto di fango granulare espanso, aventi ciascuno le seguenti caratteristiche:

caratteristiche dimensionali e funzionali reattori		
diámetro	m	8,5
altezza	m	16,5
superficie	m <sup>2</sup>	56,7
volumè	m <sup>3</sup>	935
<b>n. reattori</b>	n	2
<b>volumè totale</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>1.870</b>
carico estivo (*)	kg/d	40.500
carico volumetrico estivo (*)	kg/m <sup>3</sup> /d	21,6
HRT estivo (*)	h	5,0
carico invernale	kg/d	27.000
carico volumetrico invernale	kg/m <sup>3</sup> /d	14,4
HRT invernale	h	7,5

(\*) Si ricorda che i dati relativi alla situazione estiva, cioè di massimo carico, comprendono un sovraccarico di circa l'11%, come in precedenza specificato.

Sono previste alimentazioni singole tramite pompe dotate di inverter in modo da poter regolare la portata a ciascun reattore tra 50 e 180 m<sup>3</sup>/h con prevalenza di circa 30 m.

I reattori anaerobici previsti, realizzati in acciaio inox 304, costituiscono un'evoluzione dei sistemi a flusso ascendente UASB (upflow anaerobic sludge blanket) che utilizzano una biomassa anaerobica di tipo granulare. Essi consentono di operare a carichi volumetrici molto elevati e a rendimenti di rimozione del carico inquinante (COD) ottimali.



Prospetto zona reattori – si evidenzia il piano di appoggio ribassato con ricovero al chiuso delle macchine e delle attrezzature complementari (scambiatori di calore, filtri biogas, pompe, dispositivi di sicurezza, ecc.)

Ferme restando le caratteristiche delle acque da trattare, le caratteristiche funzionali e prestazionali della stazione, come pure alcuni dimensionamenti accessori, derivano in primo luogo dal rendimento dei reattori nella capacità di abbattimento percentuale del carico organico influente.

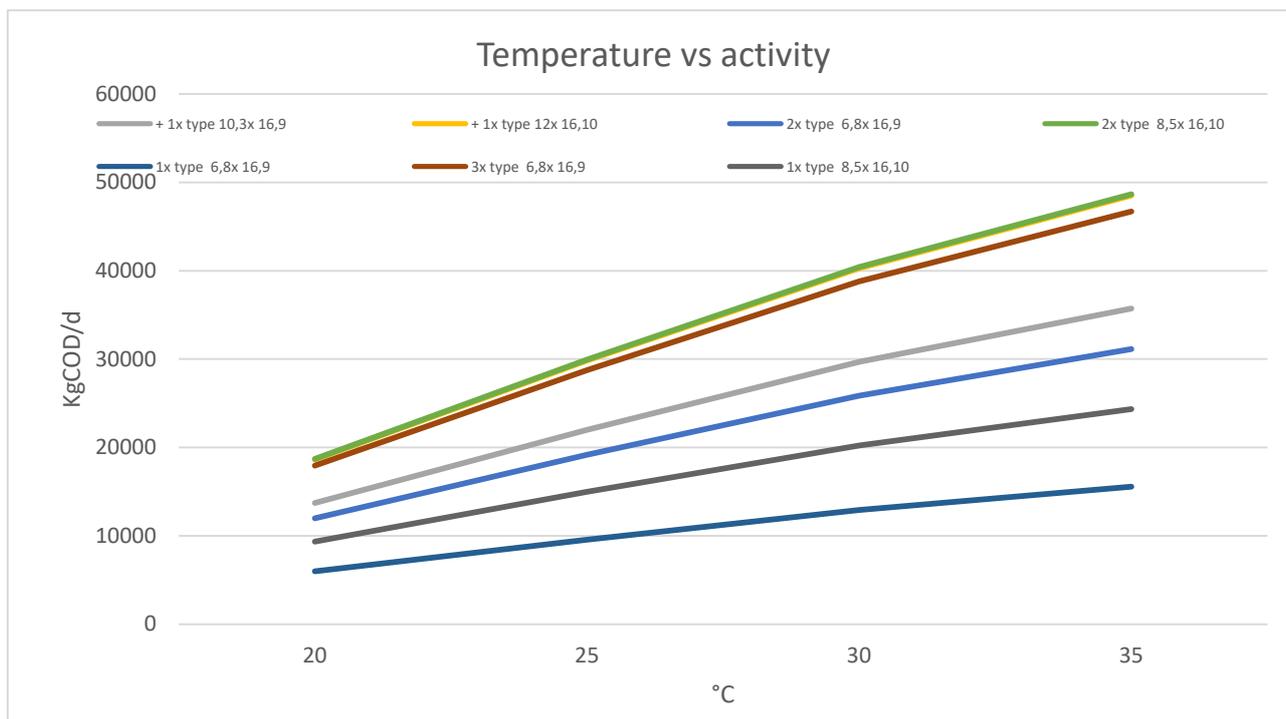
La configurazione prescelta prevede:

- 2 reattori anaerobici del diametro di 8,5m e altezza 16,5m, per un volume unitario di 935 mc ciascuno (volume totale 1.870mc)
- Portata influente invernale 6.000 mc/d con COD 4,5 kg/mc (totale 27.000 kg/d).

Nel funzionamento invernale il COD totale influente è di  $250 \cdot 4,5 \cdot 24 = 27.000$  kg/d cui corrisponde, con un volume totale dei reattori di 1870 mc, un carico volumetrico di  $27.000/1.872 = 14,4$  kg/mc/d.

Nell'ottimizzazione del processo è possibile operare su diversi fattori e parametri. In particolare qui si considerano:

- 1) temperatura scarico da trattare all'arrivo: si ipotizzano diverse temperature a partire dai 17°C;
- 2) temperatura operativa nel reattore e abbattimento del COD. Qui si prevede di operare, anche d'inverno, con flora batterica metanifera mesotermica, alla temperatura ritenuta ottimale di 34°C (Bonomo), alla quale si ipotizza un abbattimento del COD dell' 85%;
- 3) con il diminuire della temperatura di processo, tale rendimento diminuisce di circa il 3% per ogni grado di temperatura in meno (grafico Paques);
- 4) si calcola una produzione di biogas di  $0,5 \text{ Nm}^3$  per kg di COD abbattuto. CH<sub>4</sub> = 65%, PCI 6,5 kWh/Nm<sup>3</sup> (prove UNIVR);
- 5) si considera un preriscaldamento dell'acqua da trattare tramite recupero termico dall'effluente trattato, possibile fino ai 29 – 29,2°C; per gli ulteriori 4,8 - 5 gradi necessari per raggiungere i 34°C si provvede con un riscaldatore alimentato con acqua termica dell'impianto 75°C. Tutti gli scambiatori, come visto, saranno del tipo a spirale, customizzati (cioè realizzati ad hoc).



Efficienza del trattamento al variare della temperatura di processo per diverse configurazioni. Si considera la configurazione con 2 reattori da 8,54 m rappresentata dalla linea verde (Paques).

Criteri di calcolo: sulla base della temperatura di processo (34°C) e del carico volumetrico si stima la percentuale del COD abbattuto corrispondente (85%), da cui il biogas prodotto (0,5 Nm<sup>3</sup>/kg COD elim., metano 65%) e le corrispondenti energia termica (3,01 kWh/ Nm<sup>3</sup>) ed elettrica (2,67 kWh/mc) ottenibili dall'impiego di detto biogas in cogenerazione. Dall'energia termica disponibile (solo cogenerazione e solo gas "proprio") si determina l'innalzamento della temperatura del flusso in ingresso al reattore da cui il calcolo del recuperatore.

L'innalzamento totale del flusso d'acqua da trattare, cioè la temperatura di processo meno la temperatura del refluo in arrivo, è attribuibile a due componenti termiche: un primo innalzamento corrispondente, d'inverno, al massimo recupero possibile del calore dell'acqua trattata; a seguire, un secondo innalzamento realizzato tramite il calore cogenerato con il citato biogas "proprio".

In fase di progettazione esecutiva sarà valutata la possibilità di una maggiorazione dello scambiatore riscaldatore in modo da assorbire, d'estate, parte o tutta l'energia termica prodotta in eccesso rispetto ai fabbisogni. Il vantaggio sarebbe quello di limitare se non evitare l'intervento dei dry cooler, risparmiando il consumo dei ventilatori, e di bypassare parte del recuperatore, risparmiando sul consumo della pompa booster di ritorno.

#### **4.1.3 Elasticità funzionale ciclo termico – considerazioni tecnico economiche**

I noti eventi bellici che hanno interessato l'Europa orientale hanno apportato significativi sconvolgimenti nei prezzi di diverse materie prime e soprattutto nel prezzo del gas naturale, pressoché decuplicato nell'ultimo anno, superando, dal punto di vista energetico, il prezzo dell'energia elettrica.

In considerazione di questa variabilità del mercato, potrebbe ravvisarsi la convenienza di risparmiare, per quanto possibile, il biogas per destinarlo alla vendita.

Qualora si decidesse di immettere sul mercato il metano ricavato da parte del biogas prodotto, verrebbe di conseguenza a diminuire il calore disponibile nel ciclo termico ed in particolare quello destinato al riscaldatore finale, la cui potenza diminuirebbe. Di conseguenza, per il raggiungimento dei 34 °C operativi, la diminuzione di potenza dovrebbe essere compensata da una maggiore efficienza del recuperatore. Quest'ultimo andrebbe quindi opportunamente ridimensionato in quanto dovrebbe lavorare con un salto termico di scambio inferiore e quindi con una superficie di scambio termico ben maggiore.

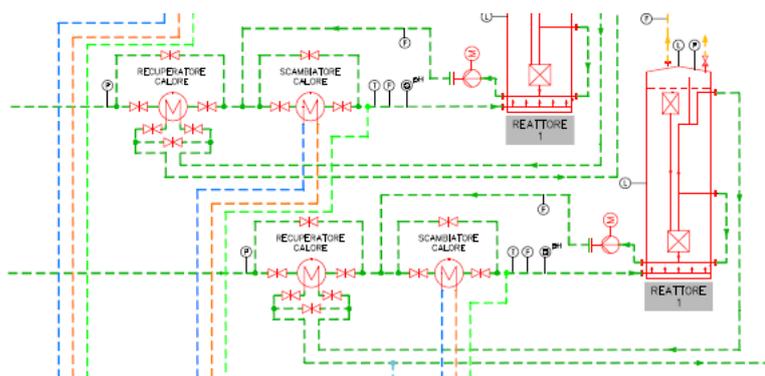
Tale maggiorazione è ottenibile, ad esempio, aggiungendo in serie al recuperatore uno scambiatore aggiuntivo: in tale ottica si prevedono gli opportuni attacchi per tale applicazione integrativa.

Esistono poi altre soluzioni, quali ad es. le pompe di calore, che potrebbero fornire energia termica a spese di una energia elettrica che potrebbe risultare meno costosa.

Tali soluzioni, sempre possibili ad integrazione del presente intervento, sono rimandate ad un eventuale successivo progetto integrativo.

#### **4.1.4 Funzionamento dei reattori**

Ciascuna quota (1/2) di scarico pretrattato attraverserà gli scambiatori di calore (recuperatore e riscaldatore) per il raggiungimento della temperatura di processo e sarà immessa nel corrispondente reattore attraverso una serie di tubazioni poste sul fondo, in modo da realizzare una distribuzione uniforme delle acque reflue, evitando nello stesso tempo l'instaurarsi di vie di flusso preferenziali. I composti organici presenti nelle acque reflue sono convertiti in biogas ad opera della biomassa granulare contenuta nel reattore.



Schema preriscaldamento reattori anaerobici

A processo anaerobico completato, la miscela di acque trattate e biomassa passa nel comparto di degasazione e sedimentazione; un idoneo sistema filtrante provvede a estrarre l'acqua trattata da inviare al recuperatore di calore, mentre la biomassa solida rimane in sede. L'efficace contatto tra i reflui e la biomassa e la grande quantità e concentrazione raggiunta nel reattore da quest'ultima, consente di operare con carichi volumetrici molto elevati.

Per quanto riguarda il fabbisogno di sostanze nutritive (azoto e fosforo), oltre alla miscelazione con acque di supero della linea fanghi (ispessimento, disidratazione) dell'impianto municipale, sono previsti specifici dosaggi di acido fosforico ed urea, calibrati sulla base delle analisi di routine.

I fanghi anaerobici prodotti saranno inviati direttamente alla adiacente sezione di trattamento acque reflue urbane per essere uniti ai fanghi primari e con questi trattati nell'esistente impianto di digestione anaerobica.

Al processo non è associata alcuna emissione aeriforme indesiderata, mentre un sistema di pulizia con azoto in pressione posto sui moduli di separazione gas-biomassa porta al minimo le attività di manutenzione ed i rischi di intasamento.

#### 4.1.5 Rendimenti depurativi attesi

I dati e i parametri di funzionamento del sistema anaerobico sono riportati nella sottostante tabella prevedendo, come detto, un funzionamento a 34°C (campo mesofilo) in tutte le stagioni. Si rileva:

- a) la rilevante diminuzione della popolazione equivalente gravante sulla linea acque urbana, che risulta fortemente alleggerita;
- b) la maggior produzione di biogas, cui va attribuita una produzione di energia elettrica di tutto rispetto.

QUADRO RIEPILOGATIVO		inverno	estate (*)	lim.garantito
portata giornaliera	mc/d	6.000	9.000	8.000
portata media oraria	mc/h	250	375	333
concentrazione	kg/mc	4,5	4,5	4,5
carico giornaliero	kg/d	27.000	40.500	36.000
pari a popolazione equivalente	a.e.	225.000	337.500	300.000
volume totale reazione anaerobica	mc	1870	1870	1870
temperatura operativa	°C	34	34	34
tempo di ritenzione (HRT)	h	7,48	4,99	5,61
carico volumetrico	kg/d/mc	14,4	21,7	19,3
abbattimento COD alla T operativa	%	85	85	85
COD giornaliero abbattuto	kg/d	22.950	34.425	30.600
pari a popolazione equivalente	a.e.	191.250	286.875	255.000
COD residuo da depurare in biologia	kg/d	4.050	6.075	5.400
pari a popolazione equivalente	a.e.	33.750	50.625	45.000
produzione specifica biogas	mc/kgCODelim	0,5	0,5	0,5
produzione giornaliera biogas	mc/d	11.475	17.213	15.300
pari a produzione oraria	mc/h	478	717	638
eff. Termica cogeneratori	kWh/mc	3,01	3,01	3,01
potenza termica propria cogenerata	kWt	1.439	2.159	1.919
eff. elettrica cogeneratori	kWh/mc	2,67	2,67	2,67
potenza elettrica prodotta	kWt	1.277	1.915	1.702

#### 4.1.6 Produzione fanghi

I fanghi prodotti dal processo sono costituiti da:

- fanghi di filtrazione, che si stimano nel 50% dei solidi sospesi totali contenuti nello scarico e che saranno trasferiti tramite pompa monovite alla vasca dei fanghi biologici preispessiti;
- fanghi di supero prodotti dal trattamento biologico anaerobico, che si stimano pari al 4% del COD eliminato e che saranno trasferiti ai sedimentatori primari della linea acque e da questi alla digestione.

PRODUZIONE FANGHI	u.m.	inverno	Estate(*)
portata giornaliera ingresso	mc/d	6.000	9.000
concentrazione COD	g/l	4,5	4,5
carico giornaliero COD	kg/d	27.000	40.500
portata oraria media	mc/h	250	375
abbattimento % COD	%	85	85
COD giornaliero abbattuto	kg/d	22.950	34.425
concentrazione medi Sstot	ppm	350	350

carico giornaliero Sstot	kg/d	2.100	3.150
eliminabili con filtrazione (50%)	kg/d	1.050	1.575
prod. Specifica f. di supero	kg/kgCODelim	0,04	0,04
fanghi di supero dal processo	kg/d	918	1.377
Totale fanghi da inviare a linea fanghi	kgSSt/d	1.968	2.954
Riduzione in digestione	%	30	30
Riduzione in digestione	kgSSv/d	590	886
Totale fanghi digeriti	kgSSt/d	1.378	2.068
Totale fanghi disidratati al 25%	kg/d	5.510	8.271

## **4.2 Stoccaggio e depurazione del biogas prodotto**

Il biogas è prodotto dalla digestione anaerobica dei solidi organici ed è una miscela di vari tipi di gas, alcuni dei quali incombustibili o comunque con proprietà indesiderate.

Oltre al metano (che è la componente “utile”), il biogas contiene anidride carbonica, acqua sotto forma di vapore e piccole quantità di altri gas, potenzialmente nocivi se bruciati nei motori a combustione interna. In particolare, nel biogas da sfruttare per la cogenerazione di energia elettrica e termica il contenuto in vapore, acido solfidrico (H<sub>2</sub>S) e silossani deve essere necessariamente abbattuto, a causa della spiccata azione corrosiva e/o abrasiva, tale da ridurre significativamente la vita utile del motore endotermico di cogenerazione.

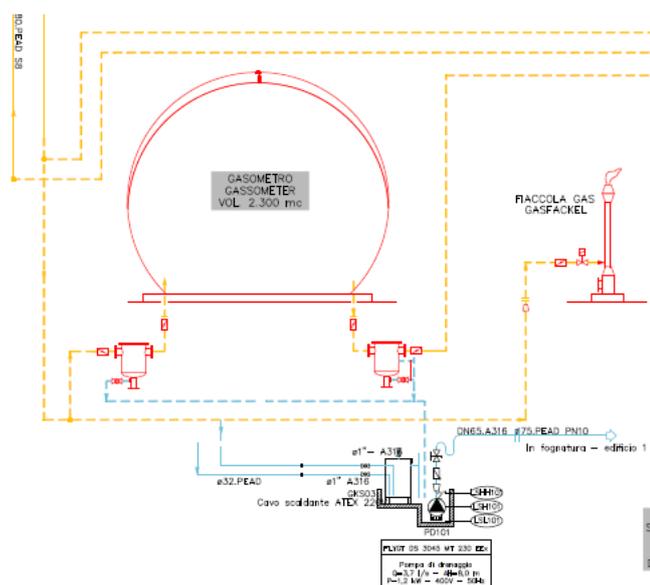
La stazione di trattamento del biogas, comprenderà quindi le fasi di filtrazione grossolana a ghiaia, filtrazione fine a candele filtranti, desolfurazione a umido, deumidificazione, rimozione dei silossani. Tutte queste fasi saranno dotate di by pass per eventuali interventi di manutenzione. In caso di interventi brevi, il by pass di qualche fase di trattamento potrà essere attuato ad impianto regolarmente funzionante; per interventi che dovessero prolungarsi, non ammissibili all’utenza (cogenerazione), sarà necessario interrompere il flusso del gas e, se necessario, inviarlo in torcia.

### **4.2.1 Nuovo gasometro e torcia di emergenza**

Si prevede la realizzazione di un gasometro del tipo a tripla membrana con ventilatore per il mantenimento della contropressione del cuscino d'aria, simile all’esistente, obsoleto, sistemato in posizione leggermente spostata per consentire l’inserimento planimetrico dei reattori.

Il volume della sezione garantirà uno stoccaggio del biogas atto a gestire in modo corretto la pressione in linea del biogas per le utenze di riutilizzo. Si prevede l’installazione di un gasometro a tripla membrana del volume di 2.300 mc, a servizio di tutto l’impianto di Merano avente le seguenti caratteristiche:

- membrane: in tessuto di fibre poliesteri spalmato PVC, esterna resistente agli agenti atmosferici, ai raggi ultravioletti, con trattamento anti-fungo, peso 1.350 g/m<sup>2</sup>, interna resistente al biogas, peso 1.100 g/m<sup>2</sup>, intermedia peso 600 g/m<sup>2</sup>;
- confezionamento: con strisce di membrana tagliate e sagomate per ottenere la forma desiderata;
- saldature: effettuate con sistema elettronico ad alta frequenza, con saldature della membrana gas ricoperte con speciale processo Eco-Safe per proteggere la giunzione e migliorarne la sigillatura;
- sistema di sicurezza intrinseco esclusivo: doppia membrana di separazione tra la camera del biogas e la camera d'aria di compressione, per creare un'intercapedine aperta verso l'esterno ed evitare l'infiltrazione di biogas nella camera dell'aria in caso di perdite della membrana di tenuta al biogas:
  - dimensioni: diametri 17,70/15,05 m, Altezza 13,50 m;
  - pressione d'esercizio: max 23 mbar;
  - portata biogas: ingresso/uscita < 800 m<sup>3</sup>/h



Schema nuovo gasometro, filtri rompifiamma e torcia a fiamma coperta

#### 4.2.2 Torcia di emergenza

E' prevista l'installazione di una nuova torcia di emergenza, del tipo a fiamma coperta, da 1.200 Nm<sup>3</sup>/h.

### 4.2.3 Filtrazione del biogas

Il primo trattamento da applicare al biogas estratto è costituito dall'eliminazione delle impurezze, in forma condensata, trascinate dalla corrente gassosa. La filtrazione più grossolana, su filtri a ghiaia, è integrata da una filtrazione più fine, con filtri a candele ceramiche, in modo da inviare ai trattamenti successivi una corrente gassosa aeriforme pulita.

Caratteristiche del filtro a candele ceramiche:

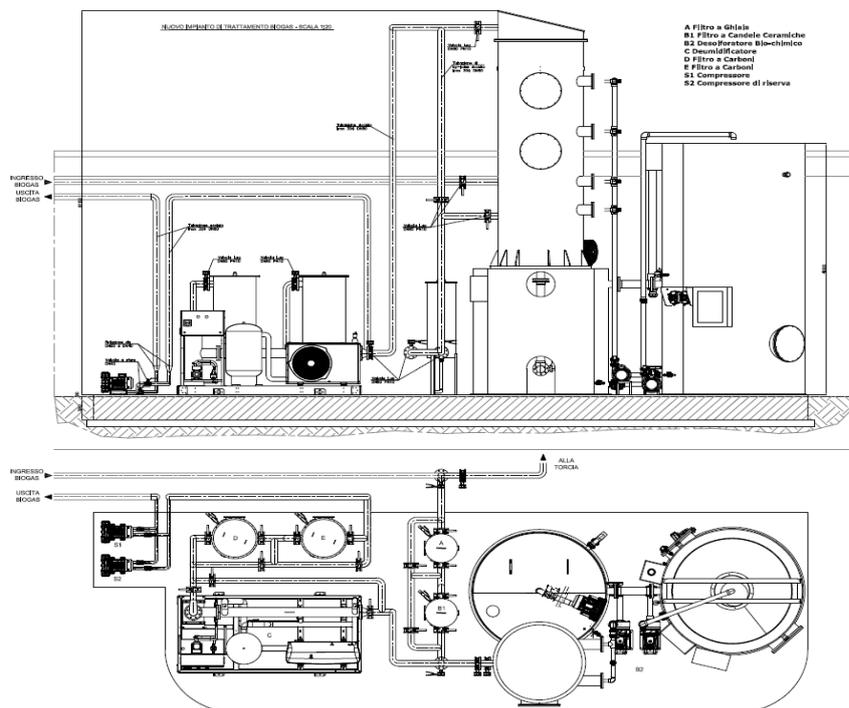
Portata gas in ingresso	m <sup>3</sup> /h	800
Pressione massima d'esercizio	mbar	50
Pressione max di progetto	mbar	100
Perdite di carico	mbar	< 20
Temperatura max biogas	°C	45
Tipologia inquinante		Particellato
Materiale filtrante		Candele ceramiche

### 4.2.4 Desolfurazione

Il biogas in uscita dai reattori contiene significative quantità di idrogeno solforato (H<sub>2</sub>S), un inquinante altamente tossico che può creare grossi problemi anche a basse concentrazioni. Il suo odore diventa sgradevole a 3–5 ppm, mentre una concentrazione atmosferica di 300 ppm può già essere letale.

Con la combustione, l'H<sub>2</sub>S produce emissioni di anidride solforosa (o biossido di zolfo SO<sub>2</sub>), tossica e corrosiva, e deve essere rimossa prima della sua utilizzazione nelle caldaie o nei motori a gas. Sebbene nel nostro caso la quantità di H<sub>2</sub>S nel biogas sia relativamente modesta, questa è comunque superiore al limite ammissibile per l'impiego in motori a gas, essendo sufficiente a danneggiare le apparecchiature e creare problemi di manutenzione e di funzionamento.

Si prevede di installare un impianto a soda, con torre di assorbimento (scrubber) di lavaggio, nella quale la corrente gassosa, introdotta dal basso, viene ad intimo contatto con la soluzione di soda, introdotta dall'alto in controcorrente.



Stazione di trattamento del biogas (indicativo – fuori scala)

La stazione comprende altresì una vasca di ossidazione realizzata con pannelli sandwich in polipropilene con struttura interna nervata autoportante, riciclabili al 100% e privi di sostanze tossiche come da direttiva europea 2002/95/EC. I pannelli, facilmente pulibili con acqua ad alta pressione, presentano elevati valori isolanti grazie alla bassa conduzione termica della plastica e all'aria racchiusa ermeticamente nelle celle all'interno del pannello stesso. Essi sono inseriti nella classificazione antincendio ai sensi della norma EN ISO 11925-2. La vasca sarà completa di troppo pieno, scarico di fondo e di collegamenti alle elettropompe di ricircolo.

Per una efficace ossidazione del liquido è prevista una rete di diffusori porosi ad alta efficienza, con membrana in gomma con microfori antintasamento, con soffiante a canali laterali per l'insufflazione dell'aria nei diffusori. La soffiante è realizzata in alluminio pressofuso, che garantisce la massima robustezza e maneggevolezza. Non occorre lubrificazione in quanto non c'è contatto tra le parti statiche e rotanti.

La sedimentazione dello zolfo elementare prodotto avviene in un bacino in vetroresina completo di tubo di calma, canaletta di sfioro, fondo conico a 60° a cielo aperto. Il sedimentatore sarà completo di valvola pneumatica gestita tramite PLC per lo scarico temporizzato dell'esausto.

Le caratteristiche funzionali della stazione sono le seguenti:

Portata	850 m <sup>3</sup> /h
Temperatura max di lavoro:	60°C
Pressione di lavoro:	max 50 mbar
Inquinanti:	H <sub>2</sub> S

Concentrazione H <sub>2</sub> S ingresso	≤3000 ppm
Concentrazione H <sub>2</sub> S uscita	≤100

I solfuri presenti saranno quindi ossidati a zolfo elementare in forma dispersa in acqua (latte di zolfo). Lo zolfo in tale forma è totalmente inerte e può essere reinviato in testa all'impianto senza problemi.

#### 4.2.5 Deumidificazione

Il trattamento di deumidificazione è necessario in quanto l'umidità di cui il biogas è saturo, condensando all'interno delle tubazioni in seguito a variazioni di temperatura e/o pressione, può provocare inconvenienti anche di un certo rilievo.

Posta quindi la debita attenzione nello studio delle pendenze delle tubazioni, con scaricatori di condensa nei punti bassi, rimane comunque necessaria (e richiesta dai costruttori per l'alimentazione dei motori a combustione interna), l'eliminazione dell'acqua residua ad un livello il più basso possibile.

Si prevede pertanto l'installazione di un gruppo di deumidificazione specifico, a ciclo frigorifero, per il raffreddamento della corrente gassosa al di sotto dei 5°C, con successiva separazione dell'acqua condensata, avente le seguenti caratteristiche:

Natura fluido		Biogas
Range di temperatura	°C	25-35
temperatura ambientale	°C	0÷45
Atmosfera esplosiva	ATEX class ...	zona sicura
Portata biogas in ingresso	m <sup>3</sup> /h	800
Temperatura in ingresso	°C	35
Temperatura in uscita	°C	5
Perdite di carico nel riempimento	mbar	< 12
Circuiti	N°	1
Compressori	N°	1
Potenza installata	kW	21

Il processo di deumidificazione contribuisce anche ad un ulteriore abbattimento dell'idrogeno solforato, a vantaggio della durata dei carboni attivi, previsti quale trattamento "di finitura".



Stazione di deumidificazione (tipico)

#### 4.2.6 Eliminazione dei silossani

Nella valorizzazione energetica del biogas le impurezze presenti, a seguito del processo di combustione, possono provocare inconvenienti, maggiori usure e comportare quindi incrementi degli oneri manutentivi particolarmente elevati.

I silossani sono contaminanti volatili contenenti silicio che fanno parte di una più ampia famiglia di composti chimici conosciuti come organosilicati, che non vengono "digeriti" dal trattamento anaerobico.

Quando i silossani vengono combusti formano silice ( $\text{SiO}_2$ ), che si accumula sulle superfici calde dei pistoni, sulle valvole, sulle testate e sulle canne (nel tratto di corsa) con sporco e incrostazioni dure delle testate motori e delle valvole di aspirazione/scarico nonché delle sedi valvole. La  $\text{SiO}_2$  depositata nel tratto di corsa dei pistoni viene raschiata dalla fasce di tenuta e si accumula nell'olio motore, con rigatura delle canne dei cilindri e perdita del rapporto di compressione.

Si prevede il raddoppio della stazione esistente (v. elaborati grafici).

### 4.3 Cogenerazione

Uno dei punti qualificanti della progettazione riguarda l'efficientamento della produzione di energia in modo da sfruttare al meglio sia la disponibilità del biogas che il rendimento della produzione di energia nobile (FM).

Verificate potenze, rendimenti ed età dei gruppi attuali da 280 kW, sulla base delle previsioni di maggior produzione di biogas, si sono esaminate varie opzioni di potenziamento.

La soluzione più idonea è risultata quella di sostituire tout court gli attuali gruppi da 280 kW con 3 gruppi nuovi tipo Avesco (o equivalenti) da 600 kW, aventi ciascuno le seguenti caratteristiche:

- Potenza motore	kW	620
- Consumo biogas	Nm <sup>3</sup> /h	234
- Potenza elettrica al generatore:	kWe	600
- Potenza termica dal raffreddamento	kWt	333
- Potenza termica da gas di scarico	kWt	301
- Potenza termica totale	kWt	634
- Rendimento elettrico	%	42,7
- Rendimento termico	%	45,1
- Rendimento totale	%	87,8
- Emissione max NOx	mg/Nm <sup>3</sup>	190
- Emissione max CO	mg/Nm <sup>3</sup>	375
- Velocità di rotazione	1/min	150
- Frequenza nominale	Hz	50
- Tensione nominale	V	400
- Corrente nominale a cosφ 0,8	A	1.083

Anlagendaten	Legende R&I	100%	75%	50%	
Nutzbare elektrische Leistung ab Generator	P_el	600	450	300	kW
Nutzbare Kühlwasser - Wärmeleistung inkl. 1 LLK	Q1	333	261	190	kW
Nutzbare Abgas - Wärmeleistung	Q2	301	247	185	kW
Abgastemperatur nach Abgaswärmetauscher	T1	120	119	118	°C
Wärmeleistung Gemischkühler 2	Q6	39.7	28.2	18.6	kW
Total nutzbare Wärmeleistung aus Zyl-wasser und AGWT (+/- 8%)	Qtot_1	634	508	375	kW
Strahlungswärmeleistung Motor und Generator und diverse Apparate	Q7	54	43	33	kW
Zugeführte Brennstoffleistung (Toleranz +5%)	P_input_Gas	1405	1090	774	kW
Brennstoffvolumenstrom	V_Gas	234.2	181.7	129.0	Nm <sup>3</sup> /h
Heizwert Brennstoff / Gas	Hu	6.00	6.00	6.00	kWh/Nm <sup>3</sup>
Wirkungsgrad elektrisch (bei cos phi 1) ohne WP	eta_el	42.7	41.3	38.8	%
Wirkungsgrad thermisch ohne WP	eta_th	45.1	46.6	48.5	%
Wirkungsgrad total ohne WP	eta_tot	87.8	87.8	87.2	%

Vale a dire, per la rinnovata stazione con 3 macchine, 702 m<sup>3</sup>/h di biogas per 1.800 kWe e 1900 kWt, corrispondenti a 1.634.000 kCal/h.

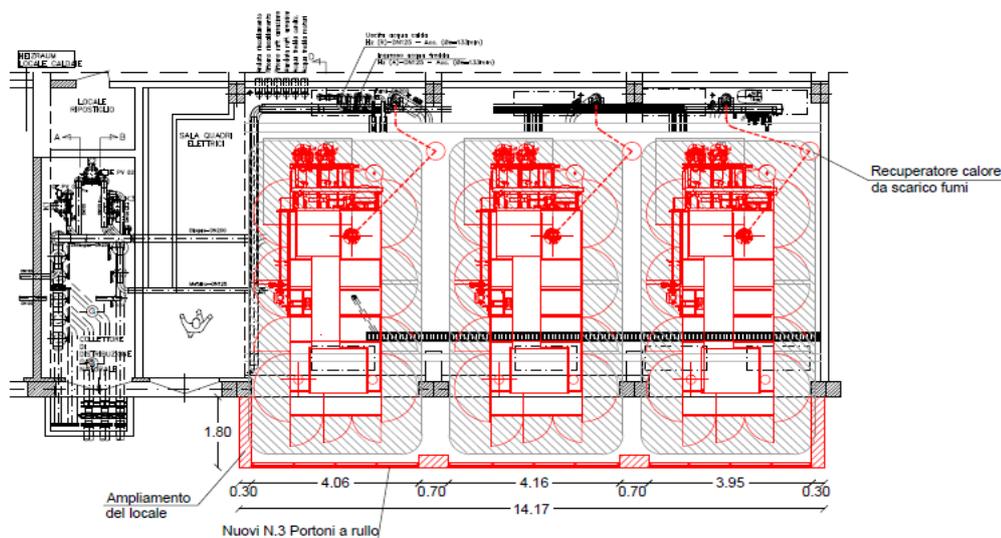
Ricordiamo che la produzione complessiva di biogas stimabile per l'intero impianto di Merano è la seguente:

- produzione biogas da digestione ad alto carico: media 12.500 Nm<sup>3</sup>/d (11.500 – 15.500 m<sup>3</sup>/d)
- produzione biogas da filtrazione + fanghi granulari alto carico: 500 Nm<sup>3</sup>/d

- produzione biogas da digestione fanghi di depurazione attuale (150.000 a.e. acque reflue urbane + 50.000 a.e. eluato da trattamento anaerobico alto carico)\*0,18 l\*ab/d= 3.600 Nm<sup>3</sup>/d

Per un totale prevedibile di 16.600 m<sup>3</sup>/d pari ad una portata oraria in condizioni di punta di 692 mc/h.

La pressione di 0,04 bar richiesta per l'alimentazione del gruppo di cogenerazione viene poi garantita da un gruppo di elettrosoffianti a canale laterale esistenti integrate da ulteriori due macchine (di cui una di riserva).



Configurazione planimetrica dei nuovi gruppi di cogenerazione, previsti nel locale interrato nell'area reattori

#### 4.3.1 Emissioni in atmosfera

I nuovi gruppi da 600 kW previsti garantiscono i seguenti limiti di emissione gassosa:

$$\text{CO} < 240 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{NO}_x < 170$$

con valore di O<sub>2</sub> di riferimento pari al 15%

Tali valori di emissione saranno garantiti dalla marmitta catalitica allo scarico di cui l'impianto sarà dotato.