

# COMUNE DI CAPOTERRA



Consorzio Industriale Provinciale  
Cagliari

## PROGETTO DEFINITIVO

RIFERIMENTO LCF <b>LCF 1722</b>		DESCRIZIONE RELAZIONE IMPIANTO DI COGENERAZIONE	
DISCIPLINA Elaborati ammin.	SCALA VARIE		
IDENTIFICATIVO ELABORATO A 2.6	PLOT		

### Committente

**CONSORZIO INDUSTRIALE PROVINCIALE  
DI CAGLIARI**  
Viale A. Diaz 86  
09125 Cagliari

### Timbri e firme

### Progettisti

#### Mandataria



SEA società engineering ambiente s.r.l.  
via Felice Gioelli n.30  
44122 Ferrara

#### Mandanti



Laboratorio Città di Ferrara engineering s.r.l.  
via Carlo Grillenzoni n.3  
44122 Ferrara



Ener.Pro s.r.l.  
via Calcina Nuova n.60  
40017 San Giovanni in Persiceto (BO)



SGM Ingegneria s.r.l.  
via Felice Gioelli n.30  
44122 Ferrara

ING. ALESSANDRO VERRI

Ing. Alessandro Verri  
via Fascinata n.125  
44011 Argenta (FE)

### Revisioni

N°	data	redatto	contr.	approv.		Motivo della revisione
0	10/2017	fr	fr	fr	EMISSIONE	
1	02/2018	mp	fr	fr	revisione	bussola di scarico sottovaglio preselezione - biocelle +6m
2						
3						

Pos. archivio **LCF**

1 7 2 2

A

0 0 2

0 6

EFFICIENTAMENTO ED ADEGUAMENTO DELL'IMPIANTO DI COMPOSTAGGIO  
SITOPRESSO LA PIATTAFORMA AMBIENTALE DI MACCHIAREDDU

## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSE .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>SEZIONE COGENERATIVA .....</b>	<b>3</b>
2.1	Gruppo di cogenerazione.....	3
2.2	Recupero termico .....	4
2.3	Evacuazione fumi .....	5
2.4	Sistemi di contenimento delle emissioni atmosferiche.....	5
2.5	Sistemi di monitoraggio emissioni .....	6
2.6	Accorgimenti per contenimento emissioni acustiche .....	6
2.7	Ulteriori componenti impiantistici annessi.....	7
<b>3</b>	<b>SEZIONE TERMICA DI COMPLETAMENTO.....</b>	<b>9</b>
3.1	Sistemi di pompaggio ed espansione .....	9
<b>4</b>	<b>SEZIONE ELETTRICA.....</b>	<b>10</b>
4.1	Riposizionamenti .....	10
4.2	Centrale cogenerativa .....	10
<b>5</b>	<b>FASCICOLO DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO IMPIANTI MECCANICI .....</b>	<b>11</b>
5.1	Dimensionamento camino.....	11
5.2	Scambiatore fumi non bypassato.....	11
5.3	Scambiatore fumi bypassato.....	16
5.4	Dispositivi di sicurezza .....	20
<b>6</b>	<b>ANALISI DELLE EMISSIONI IN ATMOSFERA DA COMBUSTIONE.....</b>	<b>22</b>

## **1. PREMESSE**

---

La presente relazione ha lo scopo di individuare e descrivere il processo di cogenerazione legato alla valorizzazione del biogas prodotto dall'impianto di biodigestione anaerobica dei rifiuti organici e verdi per la produzione di energia elettrica e di energia termica che potranno essere utilizzate come di seguito elencato:

- 1) **PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA:** utilizzabile per soddisfare completamente i fabbisogni elettrici derivanti dal processo industriale;
- 2) **PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA:** utilizzabile in parte per provvedere all'aumento della temperatura all'interno delle biocelle relative al processo di maturazione primaria di nuova realizzazione, nonché ai fabbisogni per utilizzo civile (spogliatoi, bagni ecc.).

## 2 SEZIONE COGENERATIVA

### 2.1 Gruppo di cogenerazione

Il gruppo di cogenerazione verrà installato in area dedicata adiacente ai locali tecnici esistenti per il gruppo di spinta e la vasca antincendio ed all'area di futuro sviluppo per gli impianti di biodigestione anaerobica. Il cogeneratore sarà munito di cofanatura insonorizzata e verrà dotato di canali di ventilazione per garantire l'aerazione necessaria al corretto funzionamento del motore. Saranno previsti n°2 motori delle potenzialità e caratteristiche indicate nelle tabelle sottostanti.

#### COGENERATORE



Tipo combustibile	Gas naturale
Potenza introdotta	5.600 kW
Potenza elettrica prodotta	2.200 kW
Ciclo di funzionamento	Otto – 4 tempi

La cofanatura del cogeneratore sarà dotata di adeguata ventilazione meccanica forzata, al fine garantire il necessario smaltimento del calore irraggiato in ambiente da motore-alternatore. L'immissione e l'espulsione d'aria saranno opportunamente silenziate con setti insonorizzanti al fine di abbattere il rumore prodotto dall'impianto. Entrambe verranno realizzate attraverso canalizzazione e apertura a parete e, investendo il cogeneratore per l'intera lunghezza,

permetteranno un "lavaggio" completo dell'interno della cofanatura. Nello specifico, vista la limitata disponibilità di spazio, i setti insonorizzanti installati sull'espulsione si svilupperanno in lunghezza a ridosso del solaio del cunicolo di accesso ai locali tecnici.

Il cogeneratore, attraverso il quadro motore e il quadro di sincronizzazione e ausiliari, sarà regolato in maniera completamente automatica, interfacciandosi con la rete elettrica e il sistema di supervisione.

Di seguito i dati principali relativi

<b>Potenze termiche disponibili:</b>			
Circuito olio		kW	130
1° stadio intercooler		kW	215
Circuito camicie		kW	355
Fumi raffreddati a 200°C		kW	430
<b>Totale recupero in H<sub>2</sub>O calda</b>		kW	1.139
<b>Vapore 8 bar (alimento 90 °C)</b>		kW	429
alim. 90°C - fumi raffreddati a 200°C		kg/h	645
<b>Potenze termiche da dissipare:</b>			
2° stadio intercooler		kW	64
<b>Totale potenza da dissipare</b>		kW	64
<b>Rendimento TOTALE</b>		%	83,0
Rendimento elettrico		%	42,0
Rendimento termico		%	40,0
<b>Potenze elettriche disponibili:</b>			
Potenza elettrica		kW	2200
Potenza immessa		kW	5600

## 2.2 Recupero termico

Il sistema di recupero calore per produzione di acqua calda sarà composto da:

- scambiatore di calore disaccoppiamento fra olio/acqua di raffreddamento motore e acqua calda montato su apposito sostegno di tipo a piastre
- recuperatore di calore fra gas di scarico e acqua calda di tipo a fascio tubiero completamente collegato:
  - lato primario: gas di scarico che passa attraverso i tubi
  - lato secondario: acqua calda che circonda i tubi
- lo scambiatore a piastre che recupera, in sequenza, dallo stadio ad alta temperatura del refrigeratore aria di sovralimentazione (intercooler 1° stadio), dall'olio e dall'acqua di raffreddamento delle camicie;

lo scambiatore sui fumi di scarico (caldaia a recupero), dotato di by-pass.

Nello specifico il calore recuperabile sarà suddiviso come segue:

**RECUPERO TERMICO**

1° stadio intercooler, olio	215 kW
Fumi	430 kW

Il 2° stadio dell'intercooler sarà dotato di elettrodissipatore, in quanto energeticamente inutilizzabile a causa della bassa temperatura di recupero.

### 2.3 Evacuazione fumi

L'evacuazione dei prodotti della combustione avverrà attraverso la linea dei fumi, sulla quale saranno ubicati i dispositivi di abbattimento degli inquinanti, la caldaia di recupero fumi e la marmitta silenziatrice. Tale linea, installata all'interno del locale cogenerazione, sarà dotata di by-pass fumi della caldaia a recupero, in modo da permettere eventuali operazioni di manutenzione sul componente e/o dissipare il calore dei fumi in caso di assenza di carico termico.

Il condotto della linea fumi in uscita dal cogeneratore, potendo lavorare fino a temperature prossime ai 500 °C (nei regimi di funzionamento parziale del motore), sarà realizzato in acciaio al molibdeno 16Mo3 (o in alternativa acciaio inox AISI 316), con rivestimento in lana minerale (spessore min. 8 cm) protetto da lamierino di alluminio.

Data la natura del sito industriale servito si prevede la realizzazione di un camino di espulsione dei fumi derivanti dal cogeneratore: esso sarà caratterizzato da un'altezza di circa 9 m ed un diametro DN550.

Tale altezza risulta conforme alle prescrizioni previste dalla normativa vigente sopra citata, in quanto entro 50 m di distanza dal camino non sono presenti ostacoli o strutture.

### 2.4 Sistemi di contenimento delle emissioni atmosferiche

Nel rispetto della normativa regionale vigente, le emissioni in atmosfera del cogeneratore saranno le seguenti:

EMISSIONI COGENERATORE	
Temperatura gas di scarico	448°C
Temperatura gas di scarico con recupero	120°C
Portata gas di scarico secchi	6.200 Nmc/h
Portata gas di scarico umidi	7.000 Nmc/h
Ossidi di azoto (NOx)*	<60 mg/Nmc
NH3*	<15 mg/Nmc
Monossido di carbonio (CO)*	<300 mg/Nmc

\*Valori riferiti ai gas secchi in condizioni normali e con una percentuale del 5% di ossigeno libero nei fumi

Al fine di garantire il rispetto dei limiti sopra riportati è prevista sulla linea fumi del cogeneratore l'installazione delle seguenti apparecchiature:

- Catalizzatore ossidante: Per garantire il contenimento degli ossidi di carbonio (CO) e degli idrocarburi incombusti (HC), verrà installato sulla linea fumi allo scarico del motore, un depuratore catalitico ossidante che abbatta il CO da 1000 mg/Nm<sup>3</sup>, valore in uscita dal motore, al di sotto di 300 mg/Nm<sup>3</sup>.
- Sistema catalitico tipo SCR: Per garantire il rispetto del limite di NOX previsto dalla normativa vigente, verrà installato sulla linea fumi un sistema catalitico SCR (Selective Catalytic Reduction) di tipo retroazionato che abbatta gli NOX da un valore pari 450 mg/Nm<sup>3</sup> al valore inferiore a 60 mg/Nm<sup>3</sup>, garantendo al contempo il rispetto del limite di 15 mg/Nm<sup>3</sup> di NH<sub>3</sub> in uscita.

## **2.5 Sistemi di monitoraggio emissioni**

Sulla base della D.D. n. 362 del 21/11/2011, tutti i motori a combustione interna alimentati a gas naturale di potenzialità nominale maggiore o uguale a 6 MW devono essere dotati dei sistemi di misura e registrazione in continuo dei seguenti parametri: T, O<sub>2</sub>, CO.

Nel caso specifico, sebbene non sussista l'obbligo normativo trattandosi di impianti di potenza inferiore a 6 MW, per il controllo della combustione il cogeneratore verrà dotato di un sistema costituito da sonde di temperatura, sonde all'ossido di zirconio per la rilevazione dell'ossigeno, sonde di prelievo dei fumi per la misura della concentrazione di CO e NO<sub>x</sub> e relativi analizzatori dei parametri di combustione. Il sistema permetterà la misurazione della concentrazione di O<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> e della temperatura dei fumi in uscita dalla macchina. Con i dati rilevati il sistema sarà in grado di calcolare gli ulteriori parametri fondamentali della combustione, quali: CO<sub>2</sub>, eccesso d'aria, rendimento della combustione.

Tale sistema consentirà di verificare il corretto funzionamento dei dispositivi di abbattimento delle emissioni nonché un'ottimale regolazione dell'impianto.

## **2.6 Accorgimenti per contenimento emissioni acustiche**

In fase di realizzazione dell'impianto verranno adottati tutti gli accorgimenti impiantistici necessari a garantire il rispetto dei limiti acustici previsti dal piano di zonizzazione acustica del Comune di Capoterra. Nello specifico, per il contenimento/abbattimento delle emissioni sonore si prevede quanto segue:

- Posizionamento interno dell'impianto di cogenerazione e dell'interna linea fumi;

- Cofanatura insonorizzata del corpo motore-alternatore, dotata di appositi setti insonorizzanti in corrispondenza delle prese di aspirazione ed espulsione;
- Installazione di silenziatore per l'abbattimento delle emissioni acustiche residue nei fumi.

## **2.7 Ulteriori componenti impiantistici annessi**

Il gruppo di cogenerazione sarà infine corredato dai seguenti componenti:

- Alimentazione gas al gruppo:
- Allo stato attuale la centrale termica esistente è alimentata con una pressione pari a 40 mbar mediante un collettore del gas ubicato a ridosso della centrale termica; per l'alimentazione del nuovo cogeneratore è necessario pertanto prevedere un nuovo gruppo di riduzione presso la cabina di consegna del gas in modo da garantire una pressione compatibile con il range ammesso dal cogeneratore (80 – 200 mbar).
- Elettrodissipatore
- Come già anticipato, il calore a bassa temperatura prodotto dal 2° stadio dell'intercooler viene dissipato attraverso un sistema di raffreddamento costituito da un radiatore a doppio pacco. In aggiunta, il calore prodotto dal circuito acqua e olio motore e dal circuito intercooler 1° stadio, se non utilizzato dall'utenza, viene dissipato in un circuito separato nello stesso dispositivo. L'elettroradiatore interviene sul circuito acqua calda tramite una valvola con controllo di temperatura.
- Sistema automatico rabbocco olio lubrificante:
- Tale sistema sarà costituito da un regolatore automatico livello olio nella coppa motore (montato sul motore), da un serbatoio dell'olio (montato bordo motore), completo di indicatore di livello elettrico e visivo, pompa elettrica per riempimento, tappo di riempimento, sfiato ed accessori.
- Si prevede inoltre uno stoccaggio per il rabbocco automatico di lubrificante, alloggiato in manufatto dedicato e costituito da 1 serbatoio di stoccaggio per olio fresco e 1 serbatoio di stoccaggio per olio esausto, entrambi della capacità di 450 litri ciascuno, completi di livellostato, indicatore di livello, bocchettoni e valvole, pompe di carico e scarico olio, nonché tubazioni di collegamento al motore.
- Quadro di comando, controllo e regolazione gruppo di cogenerazione:
- Il gruppo di cogenerazione sarà fornito di quadro di comando e controllo a microprocessore installato nel locale quadri elettrici Ex - Officina.
- Quadro di potenza del gruppo di cogenerazione  
Il gruppo di cogenerazione sarà fornito di quadro di potenza dal quale partiranno tutte le alimentazioni elettriche delle utenze ausiliarie per il funzionamento del motore. In tale



quadro verranno inoltre installati il Dispositivo di Interfaccia (DDI), il Dispositivo di Generatore (DDG) per il parallelo del gruppo con la rete elettrica, ed infine il Dispositivo di Rincalzo (DR). Il DDI verrà comandato da un opportuno Sistema di Protezione di Interfaccia (SPI) conforme alle prescrizioni dell'ultima variante della norma CEI 0-16.

#### 3.1 Sistemi di pompaggio ed espansione

La circolazione del fluido di processo prodotto avverrà prevalentemente attraverso tubazioni aeree ed è affidata ai gruppi di pompaggio da ubicare nel locale di cogenerazione ed in centrale termica. I gruppi di pompaggio sono costituiti da:

- n. 01 elettropompa singola in linea per il circuito del dissipatore del recupero termico principale;
- n. 01 elettropompa singola per il circuito primario del cogeneratore, che interfaccia la sezione di recupero termico principale con lo scambiatore di disaccoppiamento;
- n. 02 elettropompe in parallelo per veicolare il fluido di processo allo stacco dal circuito di ritorno della centrale termica dove avverrà l'interfacciamento termico;

Il sistema di espansione dell'impianto cogenerativo sarà costituito da vasi di espansione chiusi a membrana precaricati adatti all'espansione del volume d'acqua aggiunto con il nuovo impianto.

Tutte le tubazioni per il trasporto dell'acqua calda in centrale saranno in acciaio nero UNI EN 10216, coibentate con lana minerale e finite esternamente con lamierino d'alluminio spessore minimo 6/10 mm. I collettori saranno realizzati dello stesso materiale delle tubazioni afferenti.

### 4.1 Riposizionamenti

Preventivamente all'installazione del gruppo di cogenerazione, gli impianti elettrici di servizio dei locali tecnici esistenti saranno soggetti a modifiche e riposizionamenti per consentire l'installazione del cabinato cogenerativo. I principali componenti interessati risultano essere il quadro elettrico al servizio del locale, batterie prese e lampade di illuminazione ordinaria.

### 4.2 Centrale cogenerativa

La produzione elettrica del gruppo di cogenerazione sarà in bassa tensione (400V).

I cavi provenienti dall'alternatore si attesteranno su un quadro di nuova realizzazione, denominato QE Cogeneratore COG01, sul quale sarà presente unitamente il Dispositivo di Generatore DDG e Dispositivo di Interfaccia DDI, ed il Dispositivo di Rincalzo DR.

Tale quadro fornirà anche le alimentazioni delle utenze di cogenerazione; conterrà la Protezione d'Interfaccia e i contabilizzatori MID UTF (teleleggibili da ENEL) dedicati per l'energia prodotta e l'energia defiscalizzata. L'interfacciamento con la rete dell'impianto di compostaggio di Macchiareddu avverrà invece in MT. A tal fine è prevista all'interno del locale quadri elettrici l'installazione di un trasformatore innalzatore in resina a bassissime perdite con le seguenti caratteristiche principali:

- ✓ Potenza 2500 kVA
- ✓  $V_{1n} = 22.000 \text{ V}$
- ✓  $V_{2n} = 400 \text{ V}$
- ✓  $V_{cc} = 6\%$

La potenza del cogeneratore, elevata alla tensione di fornitura (22kV), sarà riportata sul Quadro Generale di Media Tensione (Celle Ricezione) posto nel locale Cabina di Ricezione. Il presente quadro sarà già oggetto di modifica futura, dovuta ad un progetto di realizzazione dell'anello MT; tale progetto comporta l'installazione di una nuova cella dedicata per la Cabina esistente di trasformazione: la cella di cogenerazione sarà pertanto installata a fianco di quest'ultima.

Il presente paragrafo ha lo scopo di esporre i criteri ed i risultati dei dimensionamenti relativi alle caratteristiche dei componenti meccanici principali relativi al progetto esecutivo del sistema di cogenerazione alimentato a gas naturale prelevato da biodigestione anaerobica, sito presso il "POLO IMPIANTISTICO DI MACCHIAREDDU".

### 5.1 Dimensionamento camino

Di seguito sono esposti i calcoli e le verifiche eseguiti secondo la normativa UNI EN 13384-1 per il dimensionamento dei sistemi di scarico fumi per il cogeneratore COG-01.

I calcoli e le verifiche sono stati eseguiti per le due situazioni di utilizzo possibili:

- con scambiatore fumi stadio in funzione NON bypassato, pertanto con temperature dei fumi più basse e maggiori perdite di carico;
- con scambiatore fumi bypassato, pertanto con temperature dei fumi più alte e minori perdite di carico.

### 5.2 Scambiatore fumi non bypassato

#### Dati condotti

Tipo funzionamento camino	<i>Camino in pressione</i>	
Tipo condotti	<i>condotto semplice - canali separati</i>	
Tipo funzionamento sistema	<i>umido</i>	
Adduzione aria		
Coefficiente di sicurezza	SE	<b>1,5</b>
Fattore incostanza temperatura	SH	<b>0,5</b>
Pressione del vento	PL	<b>0 Pa</b>
Tipo apertura aria comburente	<i>Nessuna apertura</i>	
Lunghezza	LB	- m
Diametro idraulico	DhB	- mm
Rugosità	rB	- mm
Accidentalità	ZB	-
Resistenza aria comburente	PB	<b>4,0 Pa</b>
Regolatore di tiraggio		
Diametro idraulico	DhNL	- mm
Rugosità	rNL	- mm
Categoria		-

#### Caratteristiche motore

Combustibile	<b>Metano</b>	
Potenza al focolare	QF	<b>2089</b> kW
Temperatura aria comburente	TC	<b>20</b> °C
Concentrazione in volume di CO2	%CO2	<b>10,2</b> %
Temperatura fumi in uscita	TW	<b>448,0</b> °C
Pressione differenziale massima	PWO	<b>3500,0</b> Pa
Portata massica fumi	mW	<b>1,24250</b> kg/s
Diametro attacco scarico fumi	DW	<b>250</b> mm

Dati condotti

CANALE DA FUMO		
Forma		<b>Circolare</b>
D1V [mm]		<b>400</b>
D2V [mm]		<b>-</b>
%ubV [%]		<b>30</b>
%uhV [%]		<b>0</b>
%uuV [%]		<b>70</b>
%uIV [%]		<b>0</b>
Materiale		<b>Acciaio inox doppiaparete</b>
RTV [m <sup>2</sup> K/W]		<b>1,24455</b>
SPV [mm]		<b>101,1</b>
rV [mm]		<b>1</b>
LV [m]		<b>85</b>
HV [m]		<b>3</b>
ZV		<b>7,3</b>
PZVecc [Pa]		<b>5000</b>

CONDOTTO FUMI	
Marca	
Serie	
Forma	<i>Circolare</i>
D1 [mm]	<i>550</i>
D2 [mm]	-
%ub[%]	<i>20</i>
%uh[%]	<i>0</i>
%uu[%]	<i>0</i>
%ul [%]	<i>80</i>
Materiale	<i>Acciaio inox doppiaparete</i>
RT [m <sup>2</sup> K/W]	<i>0,70539</i>
SP [mm]	<i>51</i>
r [mm]	<i>1</i>
L [m]	<i>12</i>
H [m]	<i>12</i>
Z	<i>0,15</i>
PZecc[Pa]	<i>5000</i>

**Legenda:**

**D** dimensioni del condotto espresso in mm

**%ub** percentuale di esposizione del condotto rispetto al locale caldaia espressa in %

**%uh** percentuale di esposizione del condotto rispetto a locali interni riscaldati espressa in %

**%uu** percentuale di esposizione del condotto rispetto a locali interni non riscaldati espressa in %

**%ul** percentuale di esposizione del condotto rispetto all'esterno dell'edificio espressa in %

**RT** resistenza termica media del condotto espressa in m<sup>2</sup> K / W

**SP** spessore medio del condotto espresso in mm

**r** valore medio di rugosità della parete interna del condotto espressa in mm

**L** lunghezza del condotto espressa in m

**H** altezza efficace del condotto espressa in m

**Z** somma dei coefficienti di resistenza al flusso

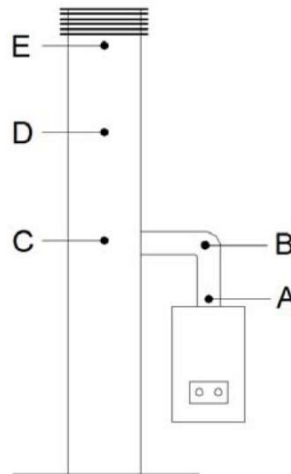
**PZecc** pressione massima ammissibile dal condotto espressa in Pa

Risultati di calcolo

A: Valori all'ingresso del canale da fumo (o uscita del canale di adduzione aria)

- B: Valori medi del canale da fumo (o canale di adduzione aria)
- C: Valori all'ingresso del condotto fumi (o uscita del condotto di adduzione aria)
- D: Valori medi del condotto fumi (o condotto di adduzione aria)
- E: Valori all'uscita del condotto fumi (o ingresso del condotto di adduzione aria)

Apparecchio acceso alla potenza massima:



EVACUAZIONE FUMI					
CASO A - Temperatura esterna massima			CASO C - Temperatura esterna minima		
Pressioni [Pa]	Temp. [°C]	Velocità [m/s]	Pressioni [Pa]	Temp. [°C]	Velocità [m/s]
A: <b>3500,0</b>	A: <b>448,0</b>	A: -	A: <b>3500,0</b>	A: <b>448,0</b>	A: -
B: -	B: <b>427,0</b>	B: <b>21,222</b>	B: -	B: <b>436,5</b>	B: <b>21,600</b>
C: <b>-40,7</b>	C: <b>406,8</b>	C: -	C: <b>-69,2</b>	C: <b>425,2</b>	C: -
D: -	D: <b>400,6</b>	D: <b>10,801</b>	D: -	D: <b>421,5</b>	D: <b>11,183</b>
E: -	E: <b>371,2</b>	E: -	E: -	E: <b>393,3</b>	E: -

## Verifiche finali

### CASO A - Requisito di pressione

	Valore		Valore	Verifica
$PZO \leq PZO_e$	-40,7	$\leq$	1569,9	SI
$PZO \leq PZ_{eccesso}$	-40,7	$\leq$	5000,0	SI
$PZO + PFV \leq PZV_{eccesso}$	1885,4	$\leq$	5000,0	SI
$PZO_{min} \geq PZO_{emin}$	-	$\geq$	-	-

### CASO C - Requisito di temperatura

	Valore		Valore	Verifica
$Ti_{ob} \geq T_g$	393,3	$\geq$	0,0	SI
$Ti_{rb} \geq T_g$	-	$\geq$	-	-

#### Legenda:

- PZO** pressione positiva massima all'entrata dei prodotti della combustione nel camino espressa in Pa
- PZO<sub>e</sub>** pressione differenziale massima all'ingresso nel camino dei prodotti della combustione espressa in Pa
- PFV** resistenza effettiva alla pressione del canale da fumo espressa in Pa
- PZ<sub>ecc</sub>** pressione massima ammessa dalla designazione del camino espressa in Pa
- PZV<sub>ecc</sub>** pressione massima ammessa dalla designazione del canale da fumo espressa in Pa
- PZO<sub>min</sub>** pressione positiva minima all'ingresso nel camino dei prodotti della combustione espressa in Pa
- PZO<sub>emin</sub>** pressione differenziale minima all'entrata nel camino dei prodotti della combustione espressa in Pa
- Ti<sub>ob</sub>** temperatura della parete interna allo sbocco del camino in equilibrio termico espressa in °C
- Ti<sub>rb</sub>** temperatura della parete interna immediatamente prima dell'isolamento supplementare espressa in °C
- T<sub>g</sub>** temperatura limite espressa in °C



### 5.3 Scambiatore fumi bypassato

#### Dati condotti

Tipo funzionamento camino	<i>Camino in pressione</i>	
Tipo condotti	<i>condotto semplice - canali separati</i>	
Tipo funzionamento sistema	<i>umido</i>	

#### Adduzione aria

Coefficiente di sicurezza	SE	<b>1,5</b>
Fattore incostanza temperatura	SH	<b>0,5</b>
Pressione del vento	PL	<b>0 Pa</b>

Tipo apertura aria comburente *Nessuna apertura*

Resistenza aria comburente PB **4,0 Pa**

#### Caratteristiche motore

Combustibile	<b>Metano</b>	
Potenza al focolare	QF	<b>2089 kW</b>
Temperatura aria comburente	TC	<b>20 °C</b>
Concentrazione in volume di CO2	%CO2	<b>10,2 %</b>
Temperatura fumi in uscita	TW	<b>120,0 °C</b>
Pressione differenziale massima	PWO	<b>2500,0 Pa</b>
Portata massica fumi	mW	<b>1,24250 kg/s</b>
Diametro attacco scarico fumi	DW	<b>250 mm</b>

Dati condotti

CANALE DA FUMO	
Forma	<i>Circolare</i>
D1 [mm]	<i>400</i>
D2 [mm]	<i>-</i>
%ubV [%]	<i>30</i>
%uhV [%]	<i>0</i>
%uuV [%]	<i>70</i>
%uIV [%]	<i>0</i>
Materiale	<i>Acciaio inox doppiaparete</i>
RT [m <sup>2</sup> K/W]	<i>1,24455</i>
SP' [mm]	<i>101,1</i>
rV [mm]	<i>1</i>
LV [m]	<i>85</i>
H V [m]	<i>3</i>
Z V	<i>7,3</i>
PZVecc [Pa]	<i>5000</i>

CONDOTTO FUMI	
Forma	<i>Circolare</i>
D1 [mm]	<i>550</i>
D2 [mm]	<i>-</i>
%ub[%]	<i>20</i>
%uh[%]	<i>0</i>
%uu[%]	<i>0</i>
%ul [%]	<i>80</i>
Materiale	<i>Acciaio inox doppiaparete</i>
R T [m <sup>2</sup> K/W]	<i>0,70539</i>
SP [mm]	<i>51</i>
r [mm]	<i>1</i>
L [m]	<i>12</i>
H [m]	<i>12</i>
Z	<i>0,15</i>
PZecc[Pa]	<i>5000</i>

**Legenda:**

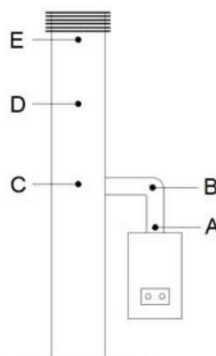
- D** dimensioni del condotto espresso in mm
- %ub** percentuale di esposizione del condotto rispetto al locale caldaia espressa in %
- %uh** percentuale di esposizione del condotto rispetto a locali interni riscaldati espressa in %
- %uu** percentuale di esposizione del condotto rispetto a locali interni non riscaldati espressa in %
- %ul** percentuale di esposizione del condotto rispetto all'esterno dell'edificio espressa in %
- RT** resistenza termica media del condotto espressa in m<sup>2</sup> K / W
- SP** spessore medio del condotto espresso in mm
- r** valore medio di rugosità della parete interna del condotto espressa in mm
- L** lunghezza del condotto espressa in m
- H** altezza efficace del condotto espressa in m
- AA** somma dei coefficienti di resistenza al flusso
- PZecc** pressione massima ammissibile dal condotto espressa in Pa

Risultati di calcolo

A: Valori all'ingresso del canale da fumo (o uscita del canale di adduzione aria)

- B: Valori medi del canale da fumo (o canale di adduzione aria)
- C: Valori all'ingresso del condotto fumi (o uscita del condotto di adduzione aria)
- D: Valori medi del condotto fumi (o condotto di adduzione aria)
- E: Valori all'uscita del condotto fumi (o ingresso del condotto di adduzione aria)

Apparecchio acceso alla potenza massima:



EVACUAZIONE FUMI					
CASO A - Temperatura esterna massima			CASO C - Temperatura esterna minima		
Pressioni [Pa]	Temp. [°C]	Velocità [m/s]	Pressioni [Pa]	Temp. [°C]	Velocità [m/s]
A: <b>2500,0</b> B: - C: <b>-10,2</b> D: - E: -	A: <b>120,0</b> B: <b>115,2</b> C: <b>110,5</b> D: <b>109,1</b> E: <b>100,3</b>	A: - B: <b>11,770</b> C: - D: <b>6,128</b> E: -	A: <b>2500,0</b> B: - C: <b>-34,4</b> D: - E: -	A: <b>120,0</b> B: <b>116,8</b> C: <b>113,6</b> D: <b>112,5</b> E: <b>103,8</b>	A: - B: <b>11,868</b> C: - D: <b>6,209</b> E: -

#### Verifiche finali

CASO A - Requisito di pressione

	Valore		Valore	Verifica
$PZO \leq PZO_e$	<b>-10,2</b>	$\leq$	<b>1432,0</b>	<b>SI</b>
$PZO \leq PZ_{eccesso}$	<b>-10,2</b>	$\leq$	<b>5000,0</b>	<b>SI</b>
$PZO + PFV \leq PZV_{eccesso}$	<b>1053,8</b>	$\leq$	<b>5000,0</b>	<b>SI</b>
$PZO_{min} \geq PZO_{emin}$	-	$\geq$	-	-

## CASO C - Requisito di temperatura

	Valore		Valore	Verifica
<b>Tiob</b> ≥ Tg	103,8	≥	0,0	SI
<b>Tirb</b> ≥ Tg	-	≥	-	-

### Legenda:

<b>PZO</b>	pressione positiva massima all'entrata dei prodotti della combustione nel camino espressa in Pa
<b>PZOe</b>	pressione differenziale massima all'ingresso nel camino dei prodotti della combustione espressa in Pa
<b>PFV</b>	resistenza effettiva alla pressione del canale da fumo espressa in Pa
<b>PZecc</b>	pressione massima ammessa dalla designazione del camino espressa in Pa
<b>PZVecc</b>	pressione massima ammessa dalla designazione del canale da fumo espressa in Pa
<b>PZOmin</b>	pressione positiva minima all'ingresso nel camino dei prodotti della combustione espressa in Pa
<b>PZOemin</b>	pressione differenziale minima all'entrata nel camino dei prodotti della combustione espressa in Pa
<b>Tiob</b>	temperatura della parete interna allo sbocco del camino in equilibrio termico espressa in °C
<b>Tirb</b>	temperatura della parete interna immediatamente prima dell'isolamento supplementare espressa in °C
<b>Tg</b>	temperatura limite espressa in °C

## 5.4 Dispositivi di sicurezza

### PREMESSA

Nuova installazione di n.1 impianto di cogenerazione alimentato a gas metano composto n.2 motori endotermici per produzione di acqua calda aventi la seguente potenzialità : - Potenza termica da dissipare (intercooler II stadio/olio II stadio): circa 55 kWt cadauno

- Potenza termica recuperata dal motore (intercooler I stadio/ olio/motore) : 700 kWt
- Potenza termica recuperata dai fumi del motore: 430 kWt

L'energia termica recuperata dall'impianto di cogenerazione sarà impiegata a supporto del processo di di maturazione primaria del rifiuto all'interno delle biocelle di nuova realizzazione.

L'impianto di cogenerazione per la produzione di energia elettrica e termica oggetto della fornitura è escluso dal campo di applicazione della direttiva PED 97/23 (art.1 paragrafo 3 punto 3.6 e 3.10).

Tutte le apparecchiature di controllo e sicurezza, a bordo cogeneratore, garantiscono, come da descrizione tecnica allegata, una temperatura massima acqua raffreddamento motore di 95°C. Di

conseguenza l'acqua in uscita dal cogeneratore sarà sempre < di 110°C verificando le condizioni imposte dal DM 01/12/75 Raccolta R.

Gli scambiatori di interfacciamento, che hanno come unico generatore di energia sul circuito primario il cogeneratore ( $t < 110^{\circ}\text{C}$ ), potranno ritenersi esclusi dal campo di applicazione della suddetta norma. Nonostante quanto sopra indicato, gli scambiatori risultano a tutti gli effetti delle fonti di calore e di conseguenza sono stati considerati nei calcoli per il dimensionamento dei sistemi di espansione.

Lo scambiatore fumi/ acqua calda, a differenza degli scambiatori sopraccitati, rientrerà nelle disposizioni del DM 01/12/75 Raccolta R Ed 2009 cap R.3.D. "impianti con scambiatore di calore alimentati sul primario con fluidi a temperatura superiore a 110°C" e sarà dotato delle necessarie sicurezze.

### **SISTEMA DI ESPANSIONE**

Il sistema di espansione adottato per l'impianto di riscaldamento oggetto della presente denuncia è a vaso chiuso provvisto di membrana e risulta installato in centrale cogenerativa, luogo protetto e non soggetto a gelo.

Il sistema di espansione, costituito da n.1 vaso a membrana della capacità di 150 litri, risulta idoneo a compensare l'aumento in volume dell'acqua contenuta nell'impianto. Tale sistema è stato dimensionato considerando il volume totale dell'acqua presente nell'impianto, somma di tutti i circuiti che lo costituiscono:

- Tratto di tubazione di mandata e ritorno da caldaia recupero fumi fino alle valvole di intercettazione del circuito a spillamento del cogeneratore poste in centrale termica.

### **CIRCUITO COGENERATORE MOTORE**

L'impianto di cogenerazione per la produzione di energia elettrica e termica è escluso dal campo di applicazione della Direttiva PED97/23 (Art.1 paragrafo 3 punto 3.6 e 3.10).

Tutte le apparecchiature di controllo e sicurezza, a bordo cogeneratore, rientrano nell'insieme PED (come da certificato allegato) e garantiscono una temperatura massima dell'acqua in uscita dal cogeneratore < di 110°C. (Norme capitolo R3a)

Il calore ad alta temperatura ( $74^{\circ}\text{-}93^{\circ}\text{C}$ ) disponibile dal circuito di raffreddamento del motore (l stadio intercooler, acqua motore, olio motore) viene recuperato. Nel caso lo scambio termico non fosse sufficiente a raffreddare l'olio e/o l'acqua motore, interverrà automaticamente un sistema di dissipazione avente capacità di scambio di progetto pari a 766 kW.

Il biogas proveniente dalla digestione anaerobica della frazione organica e verde da sfalci e potature, costituito principalmente da metano (50-75%), alimenta un cogeneratore costituito da un motore a combustione interna tipo ciclo Otto, accoppiato ad un alternatore ed a uno scambiatore di calore per il recupero termico.

Il principio su cui lavora un cogeneratore si basa sull'ossidazione del metano mediante combustione; ne consegue una trasformazione del metano prevalentemente in CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O e altri inquinanti che possono derivare dalla incompleta combustione.

*Composizione tipo del biogas prodotto da digestione anaerobica*

Metano	50-75%
Anidride carbonica (CO <sub>2</sub> )	25-45%
Idrogeno (H <sub>2</sub> )	1-10%
Azoto (N <sub>2</sub> )	0,5-3,0%
Monossido di carbonio (CO)	0,10%
Idrogeno solforato (H <sub>2</sub> S)	0,02-0,2%
Acqua (H <sub>2</sub> O)	Saturazione
Potere Calorifico Inferiore (P.C.I.)	18,8 -21,6 MJ/Nm <sup>3</sup>

#### INQUINANTI CARATTERISTICI DEGLI IMPIANTI A BIOGAS

Non per tutti gli inquinanti che possono prodursi su impianti di questo tipo sono stati previsti limiti dalla vigente normativa; in particolare il D.Lgs 152/06, allegato I parte III punto 1.3, prevede limiti per gli inquinanti di seguito specificati.

Limiti di riferimento

Inquinanti in emissione	Valori di riferimento normativo (mg/m <sup>3</sup> )	Sistemi di abbattimento adottati nei progetti autorizzati
COT (carbonio organico totale)	150	-
Monossido di carbonio	800	stione magra tipo LEANOX
Ossidi di Azoto	500	Riduzione selettiva catalitica (SCR) o non catalitica (SNCR).
Composti del cloro	10	-

Nel parametro COT sono compresi tutti gli inquinati derivanti dalla combustione incompleta del metano (formaldeide, idrocarburi, benzene); il COT corrisponde alla somma totale di tutti gli inquinanti ma non è previsto uno specifico limite di ognuno di questi.

#### Formaldeide

La formaldeide è il principale inquinante, fra i composti del carbonio, che si forma nei processi di combustione del metano (circa il 60%) in un motore a combustione interna per incompleta combustione del metano.

La normativa italiana (DLgs 152/2006 nell'Allegato I alla Parte Quinta Parte II Tabella D Classe II) prevede il seguente limite di emissione:

Valore di emissione **20 mg/Nm<sup>3</sup>** (espresso come concentrazione).

#### Idrocarburi e benzene

Possono essere presenti, anche questi ma in quantità minore rispetto alla formaldeide, per combustione incompleta del metano.

#### Diossine

Le diossine si formano in tracce in ogni processo di combustione (200-450°C) in presenza di cloro e sostanze organiche (carbonio, ossigeno, idrogeno).

Le biomasse di origine vegetale - organica contengono cloro in tracce ( % in peso variabile fino ad un valore massimo di 0,3% per il grano); nella tabella che segue è riportata la composizione elementare



di alcune biomasse del tipo in oggetto.

Il biogas da biomasse, contrariamente al biogas da discarica, dove il cloro deriva essenzialmente dalla degradazione di materiali plastici e vinilici presenti nei rifiuti , ha un contenuto di CLORO TOTALE nullo o molto basso pertanto si può escludere la presenza di diossine in quantità analiticamente rilevabili.

Composizione chimica del biogas, confronto fra biogas da biomasse e biogas da discariche

Parametri	Unità di misura	Biogas da discarica	Biogas da Digestione Anaerobica	Gas naturale Mare del nord
Potere calorifico	Mj/Nm <sup>3</sup>	16	<b>23</b>	40
Metano	vol %	<b>45</b>	<b>63</b>	87
Idrocarburi sup.	vol %	0	<b>0</b>	12
Idrogeno	% vol	0-3	<b>0</b>	0
Monossido di carbonio	% vol	0	<b>0</b>	0
CO <sub>2</sub>	% vol	40	<b>47</b>	1,2
Azoto	% vol	15	<b>0,2</b>	0,3
Ossigeno	% vol	1	<b>0</b>	0
H <sub>2</sub> S	ppm	≤100	<b>≤10.000</b>	1-2
Ammoniaca	ppm	5	<b>≤100</b>	0
<b>Cloro totale</b>	Mg/Nm <sup>3</sup>	<b>20 - 200</b>	<b>0 - 5</b>	<b>0</b>

Fonte: International Energy Agency (IEA Bioenergy)

#### Polveri e PM10

La formazione di possibili polveri sottili (PM10 e PM2,5) è dovuta alla combustione del biogas all'interno del cogeneratore.

La combustione del metano è un processo meno significativo per la produzione di polveri sottili rispetto alla combustione diretta delle biomasse, in particolare dei cosiddetti cippati in legno, ed è infatti su quest'ultima tipologia di impianti che sono stati effettuati molti studi specifici per l'analisi del problema e che si riscontra una notevole mole di dati di letteratura.

Per quanto riguarda invece la produzione di polveri sottili dai cogeneratori degli impianti a biogas oltre a non essere stati previsti limiti normativi di riferimento non esistono, al momento, studi e dati di letteratura.

Per fornire un esempio sui fattori di emissione da combustione di metano possiamo riportare una

tabella che mostra la differenza fra quelli derivanti da metano e quelli da olio combustibile dimostrando che il rapporto di concentrazione, per il PM10 totale, è di 1:10.

*Fattori di emissione prodotti dalla combustione del metano*

<b>Fattori di emissione di inquinanti prodotti dalla combustione del metano in turbine a gas</b>				
<b>Combustibile</b>	<b>Gas naturale (in turbogas)</b>		<b>Olio combustibile</b>	
<b>Sostanze inquinanti</b>	<b>Fattori di emissione</b>		<b>Fattori di emissione</b>	
	<b>lb/MMBTU</b>	<b>g/GJ</b>	<b>lb/10<sup>-3</sup> Gal</b>	<b>g/GJ</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>110</b>	<b>47.332</b>	<b>25.000</b>	<b>71.761</b>
<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>-</b>	<b>23,0</b>	<b>a</b>	<b>116</b>
<b>CO</b>	<b>-</b>	<b>23,0</b>	<b>a</b>	<b>2,9075</b>
<b>CH<sub>4</sub> + N<sub>2</sub>O</b>	<b>0,012</b>	<b>4,99</b>	<b>0,39</b>	<b>1,12</b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>0,003</b>	<b>1,46</b>	<b>94,20</b>	<b>270,40</b>
<b>TOC</b>	<b>0,011</b>	<b>4,73</b>	<b>1,04</b>	<b>2,99</b>
<b>Idrocarburi reattivi</b>	<b>0,001</b>	<b>0,43</b>	<b>0,04</b>	<b>0,12</b>
<b>PM10 totale</b>	<b>0,007</b>	<b>2,84</b>	<b>8,50</b>	<b>24,40</b>
<b>a Dato assunto pari ai valori migliori dichiarati dai proponenti</b>				
<b>Fonte: US-EPA – Compilation of emission factors – AP42, Cap 3.1 External Combustion Sources – Stationary Gas Turbines</b>				
<b>Le emissioni per l'olio combustibile sono della stessa fonte al Cap 1.3 External Combustion Sources – Fuel Oil combustion</b>				

Prendendo a riferimento un impianto di cogenerazione analogo presente sulla provincia di Trento che tratta biogas derivante da digestione anaerobica di rifiuti solidi urbani, il range di valori di "Polveri" che mediamente si è osservato negli ultimi 10 anni corrisponde a 0.06 – 7.5 mg/Nm<sup>3</sup>.

Assunto quanto sopra riportato, l'impianto di cogenerazione oggetto di progettazione sarà scelto in base alla tipologia del biogas in emissione dal biodigestore, pertanto i parametri sopra riportati saranno posti alla base della procedura d'affidamento per la realizzazione dell'impianto stesso come dati sostanziali.