

# Depurazione dell'aria

**Ossidatore Termico Flameless Rigenerativo + SNCR  
per il trattamento completo delle emissioni dei  
motori a biogas**

Le tecnologie di depurazione delle emissioni gassose contenenti composti organici si basano essenzialmente su processi di ossidazione termica e/o catalitica; tra questi, la "autotermia", senza richiedere combustione senza fiamma presenta particolare interesse per il trattamento di emissioni da impianti di cogenerazione alimentati a biogas da digestione anaerobica o da discarica, in quanto le concentrazioni di COT+CO residuali dalla combustione endotermica normalmente mantengono su valori tali da garantire l'esercizio del combustore in condizione vicine alla "autotermia", senza richiedere l'aggiunta di elevate quantità di combustibile ausiliario una volta raggiunta la temperatura di ossidazione.

E' noto che un qualsivoglia composto organico, che non contenga elementi diversi da Carbonio, Idro-



Una macchina unica per il trattamento completo degli inquinanti e per il recupero termico da gas di scarico, nei motori alimentati a biogas da digestione anaerobica o discarica

geno, Azoto ed Ossigeno, portato per un tempo adeguato ad una sufficiente temperatura in presenza di Ossigeno libero, si ossida ad acqua ed anidride carbonica. L'energia necessaria all'innalzamento della temperatura, fino all'innesco della reazione di ossidazione, può essere fornita per irraggiamento e convezione da una fiamma (bruciatore) o per conduzione da un corpo caldo.

Questo significa che, se prendiamo dell'aria inquinata da VOC in concentrazioni tali che vi sia sempre un elevato eccesso di ossigeno, rispetto allo stechiometrico di combustione, e la portiamo, per conduzione, ad una temperatura superiore a quella di accensione delle S.O.V. presenti, tra queste e l'ossigeno dell'aria avviene una reazione di combustione. Se si fa avvenire questa reazione in uno spazio confinato non vi è formazione di fiamma.

Il combustore rigenerativo senza fiamma, nella sua forma più semplice, quella in pratica realizzata solo per portate ridotte, è costituito da un letto di ciottoli refrattari diviso orizzontalmente da una resistenza elettrica per il preriscaldamento del letto. L'inversione di flusso, indispensabile per ottenere la rigenerazione termica, è realizzata con un idoneo sistema di valvole servoazionate. La presenza di una camera di compensazione, consente l'accumulo, ed il successivo smaltimento, dei gas inquinati durante la fase di inversione.

In questo modo le dilatazioni non vengono impediti ed il combustore può lavorare anziché con temperature dei fumi in uscita abbastanza elevate. Tutte le pareti esterne ed i settori divisorii tra le camere dell'unità di combustione sono rivestiti di materiale refrattario, in più strati, di spessore tale da resistere alla temperatura di combustione contenendo le perdite di calore verso l'esterno al minimo, così da mantenere la temperatura di pelle del combustore a valori di circa 55/65 °C. Il fondo ed il coperchio sono termicamente isolati così da ridurre al minimo le perdite di calore verso l'esterno notoriamente penalizzanti nei combustori senza fiamma.

### Il reattore Flameless Continuo

Il reattore o combustore Flameless Continuo è costituito da un letto di materiale siliceo in forma sferoidale, diviso in due sezioni. Ognuna di queste sezioni assolve contemporaneamente

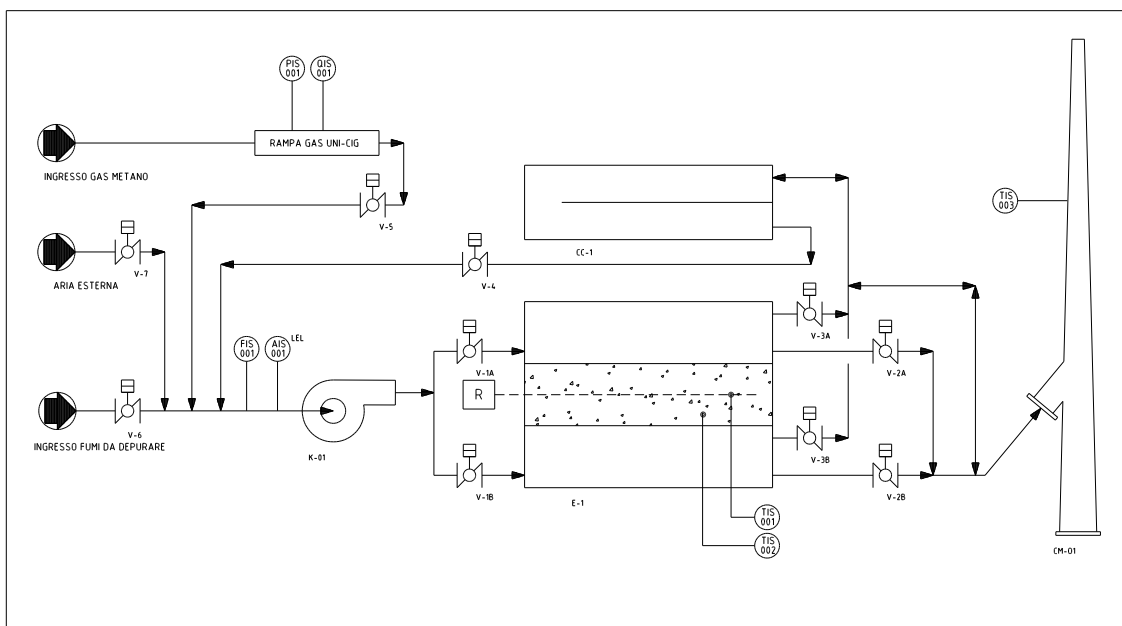
ad una doppia funzione: camera di recupero termico (a flusso alterno) e camera di combustione.

Costruttivamente il combustore Flameless Continuo presenta le seguenti caratteristiche principali: Il letto siliceo è supportato nella parte inferiore da una griglia in acciaio inossidabile, la quale scarica il peso dovuto ai letti sul fondo della camera attraverso delle colonnine.

In questo modo le dilatazioni non vengono impediti ed il combustore può lavorare anziché con temperature dei fumi in uscita abbastanza elevate.

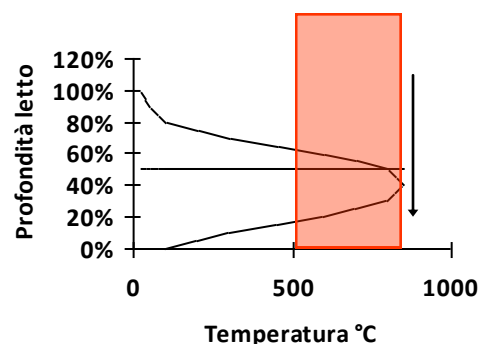
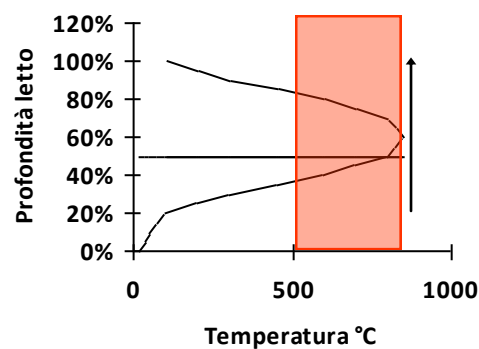
Tutte le pareti esterne ed i settori divisorii tra le camere dell'unità di combustione sono rivestiti di materiale refrattario, in più strati, di spessore tale da resistere alla temperatura di combustione contenendo le perdite di calore verso l'esterno al minimo, così da mantenere la temperatura di pelle del combustore a valori di circa 55/65 °C. Il fondo ed il coperchio sono termicamente isolati così da ridurre al minimo le perdite di calore verso l'esterno notoriamente penalizzanti nei combustori senza fiamma.

Gli spessori degli strati isolanti e refrattari sono differenziati in funzione della zona ed i materiali impiegati e sono studiati appositamente per questo tipo di combustore.

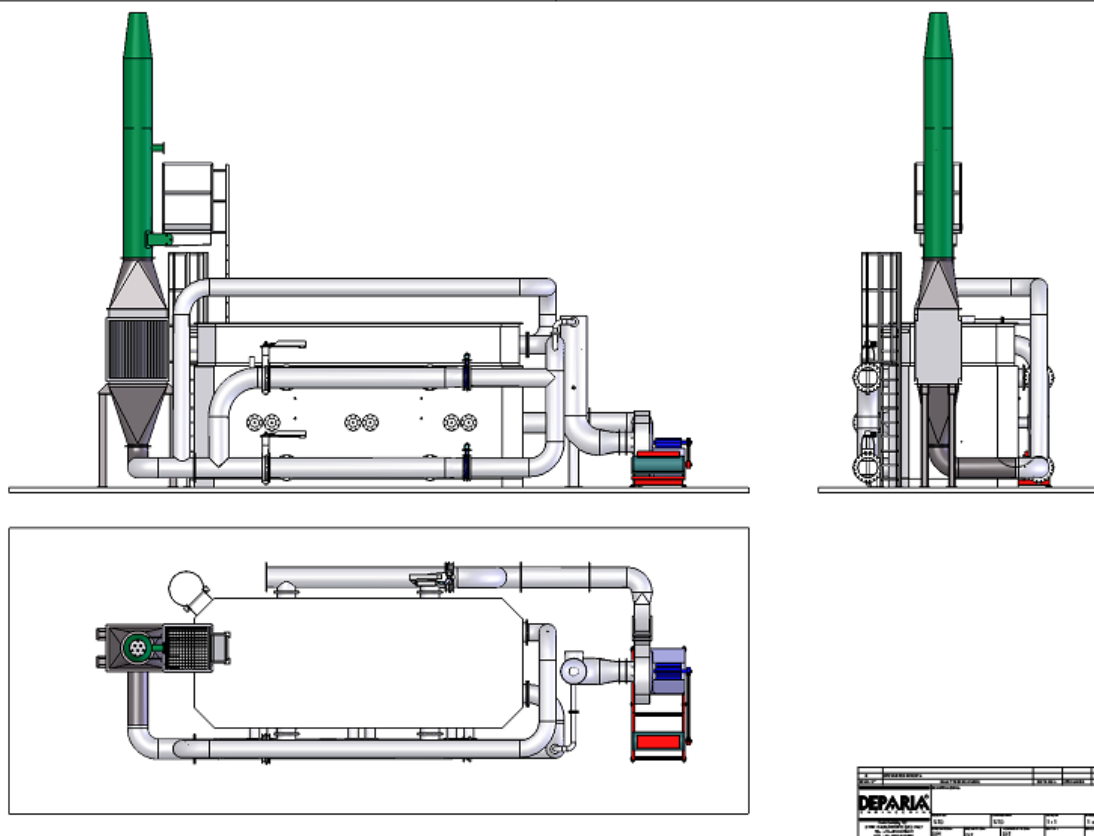


Schema di un reattore termico flameless monocamera, dotato di camera di compensazione. La presenza di tale dispositivo impedisce ai gas non trattati di raggiungere il camino durante le periodiche inversioni di flusso all'interno del reattore.

### ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE NEL LETTO DI UN COMBUSTORE SENZA FIAMMA



In questa applicazione il letto del reattore lavora costantemente nell'intervallo tra 500° e 850-900°C (area evidenziata) assicurando un processo di ossidazione completo e costante.



Layout del reattore, qui illustrato nella taglia da 5.000 Nm<sup>3</sup>/h di portata utile per installazione su motore da 500 kW.

Un sistema di quattro valvole automatiche per ogni sezione, provvede a deviare il flusso dei gas da trattare durante le diverse fasi del ciclo di funzionamento. Qualora sia richiesta una elevatissima efficienza di abbattimento, due valvole di flusso saggio per ogni camera provvedono alla completa eliminazione dei fumi inquinati dai plenum delle camere di recupero e purificazione alla fine di ogni ciclo.

Una valvola modulante, controllata dalle termocoppie installate nelle varie sezioni del combustore, consente il mantenimento della temperatura di ossidazione impostata (850°C - 1000 °C) regolando l'afflusso del gas combustibile (biogas) nella corrente di gas inquinati da depurare. La linea di alimentazione del gas combustibile è realizzata a norme EN 746-2 ed è completa di dispositivo di controllo tenuta valvole.

Sulla linea di aspirazione è installato un misuratore di portata con funzione di allarme di bassa portata del gas di processo ed un trasmettitore del limite inferiore di esplosività con funzione di allarme di alta concen-

trazione di S.O.V. entrambi questi allarmi bloccano l'erogazione del gas combustibile.

Nelle varie sezioni del combustore sono installate delle termocoppie per monitorare in continuo l'andamento delle temperature, sia in zona di preriscaldamento/recupero sia in zona di ossidazione.

Sul camino (dove previsto), a valle dell'unità di combustione, è posta una termoresistenza con soglie di alta e di altissima temperatura, avente la funzione di monitorare in continuo la temperatura

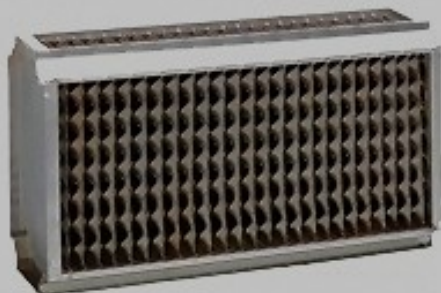
dei gas in uscita dall'unità ed eventualmente di comandare l'inversione del senso di flusso del gas in ingresso alle camere di recupero.

La soglia di allarme di altissima temperatura segnala il perdurante di anomalie di funzionamento dell'impianto e causa, dopo un adeguato tempo di ritardo, il blocco dell'unità di combustione.

### Fasi di funzionamento

1) Fase di flusso normale dal basso verso l'alto. In questa fase sono aperte la valvola di aspirazione inferiore e la valvola di mandata superiore. Sono chiuse tutte le altre valvole.

2) Fase di compensazione plenum inferiore. In questa fase sono aperte la valvola di aspirazione superiore e la valvola di compensazione inferiore. I gas inquinati presenti nel plenum inferiore vengono inviati alla camera di compensazione dove con un moto "a pistone" spingono verso il camino i gas depurati presenti. Dalla camera di compensazione i gas verranno poi aspirati dal ventilatore e avviati alla depurazione.



I gas reflui dal reattore, prima di essere avviati al camino, transitano da uno scambiatore gas/liquido (sopra) o gas/gas (sotto) secondo la modalità di recupero termico più utile.



3) Fase di flusso normale dall'alto verso il basso. In questa fase sono aperte la valvola di aspirazione superiore e la valvola di mandata inferiore. Sono chiuse tutte le altre valvole.

Fase di compensazione plenum superiore. In questa fase sono aperte la valvola di aspirazione inferiore e la valvola di compensazione superiore.

Il ciclo continua con rotazione ed inversione dei flussi fino a tornare alla fase iniziale per poi ripetersi.

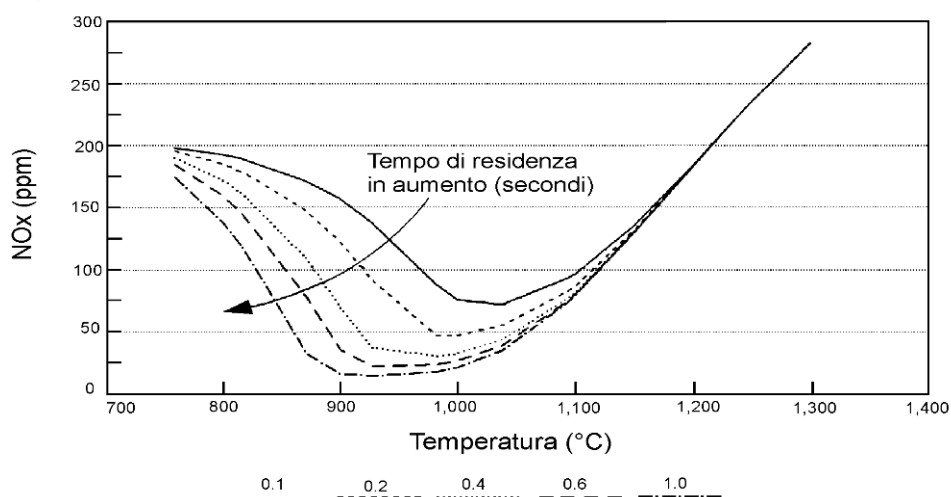
In funzione delle perdite di carico a monte, della curva caratteristica del ventilatore e della presenza o meno del flussaggio nonché della portata del flussaggio stesso, la riduzione della portata aspirata è calcolabile in un 15 - 25% del totale per alcuni secondi.

### La funzione SNCR

Un reattore termico rigenerativo, da solo, è in grado di abbattere efficacemente le sostanze organiche volatili, gli idrocarburi incombusti e il CO contenuti nelle emissioni provenienti dal motore, ma non è efficace sugli ossidi di azoto (NOx): **al fine di completare lo spettro di abbattimento, Deparia Engineering ha aggiunto anche la funzione SNCR (Riduzione Selettiva Non Catalitica) al reattore flameless, un'innovazione esclusiva (Patent pending).** In termini pratici, questo significa che, ai gas da trattare in ingresso al reattore, viene dosata una quantità appropriata di agente riducente (idrossido di ammonio) in grado di neutralizzare gli ossidi di azoto durante il transito del letto siliceo ad alta temperatura.

Per il corretto dosaggio del reagente viene utilizzato un'apposita centralina, dotata di una pompa di dosaggio e di una pompa di riserva commutabile in caso di avaria o di manutenzione della pompa principale. Un serbatoio di opportune dimensioni assicura la riserva di reagente necessaria per il normale esercizio, compatibilmente con gli spazi tecnici disponibili.

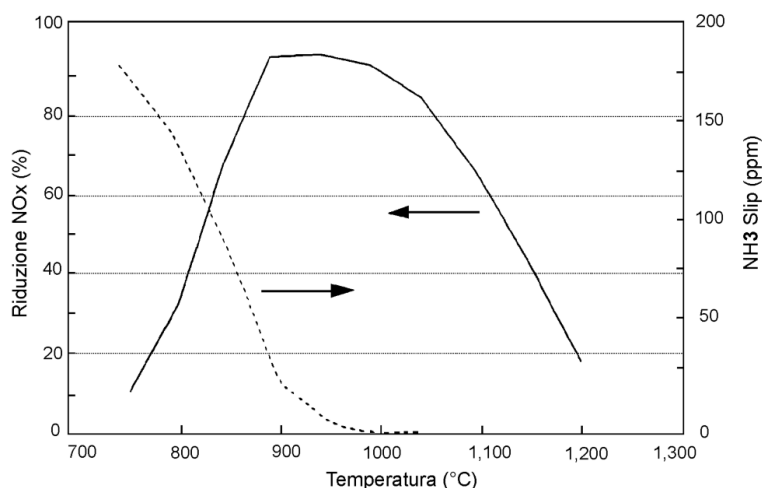
La centralina di dosaggio alimenta una lancia di nebulizzazione posta nel collettore di ingresso al reattore; il reagente dosato, sotto forma di aerosol, si trasforma in ammoniaca allo stato gassoso che viene miscelata in modo omogeneo nel flusso in transito nel letto siliceo del reattore. Durante l'attraversamento dello strato centrale, alla temperatura ideale di reazione (circa 950°C) gli ossidi di azoto vengono ridotti ad azoto molecolare e vapore acqueo.



Influenza del tempo di residenza sul rendimento della reazione SNCR. Nello spessore del letto ceramico di recupero, il tempo di residenza (circa 1") dei gas alla temperatura ottimale di reazione è ideale per ottenere un buon rendimento di reazione e un tasso minimo di ammoniaca non reagita al camino.

Il corretto dosaggio viene calcolato dal sistema di gestione, in base ad un set-point preimpostato, rilevando il valore di emissione monitorato al camino tramite un analizzatore estrattivo in continuo.

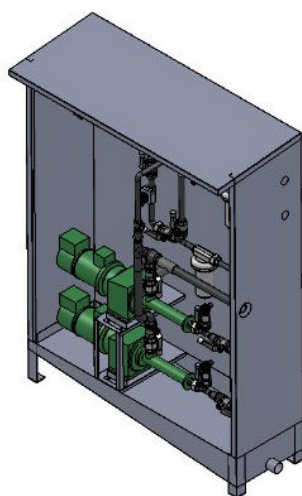
In questo modo, per la prima volta, è possibile trattare tutto lo spettro degli inquinanti presenti con un solo dispositivo, raggiungendo così un rapporto costi/benefici finora irraggiungibile su questa tipologia di impianti.



Effetto della temperatura sulla reazione SNCR ad un determinato rapporto stechiometrico normalizzato (NSR) tra reagente e NOx, in questo caso =2. Una temperatura operativa di circa 850°C rappresenta l'ideale compromesso tra rendimento di reazione e residuo di ammoniaca non reagita (*ammonia slip*). Valori ancora inferiori di ammoniaca possono essere facilmente raggiunti abbassando il rapporto NSR a 1,5-1,2.



In uscita al reattore flameless, sulla destra, è visibile il recuperatore di calore (in questo caso aria/acqua), interposto prima dell'emissione a camino.



Una centralina di dosaggio, comandata da un sistema SCADA in base ad un set point preimpostato, assicura la corretta quantità di reagente per la funzione SNCR aggiuntiva.

### La funzione burn-out

Col tempo, è possibile che si costituisca il deposito, nello spessore del letto ceramico del reattore, di una certa quantità di residui solidi di combustione: questo fenomeno potrebbe comportare un aumento delle perdite di carico d'impianto fino a livelli intollerabili. Per evitare questo inconveniente, le perdite di carico in esercizio sono costantemente monitorate e, in caso di superamento di una soglia prestabilita, viene avviato automaticamente un ciclo di burn-out, durante il quale il normale ciclo di commutazione del flusso viene regolato in modo da spostare il fronte di massima temperatura lungo tutto lo spessore del letto ceramico: allo stesso tempo, il sistema di gestione incrementa

il dosaggio di gas combustibile nel flusso in modo da innalzare temporaneamente la temperatura del fronte intorno ai 1000° C. In questo modo, si potrà avere la completa ossidazione dei residui ed il ripristino delle corrette perdite di carico.

### Campo di applicazione

Il Reattore Flameless Continuo di nuova concezione, proposto da Deparia Engineering, rappresenta la scelta ideale per trattare fumi di combustione provenienti da motogeneratori alimentati da combustibili "problematici", come il biogas generato dalla fermentazione anaerobica di biomasse: infatti, l'ossidazione termica non catalitica permette di ottenere un abbattimento molto efficace di grandi quantità di inquinanti organici senza risentire della presenza di contaminanti che sarebbero incompatibili con reattori di tipo catalitico. Inoltre, si tratta di una macchina semplice e robusta, economicamente compatibile sia nell'installazione sia nell'esercizio con centrali di potenzialità energetica limitata, intorno al MWe.

Il Reattore Flameless Continuo può essere vantaggiosamente installato anche su motogeneratori alimentati a gas di discarica; in tal caso, il calore recuperato a valle del reattore può essere impiegato nei trattamenti di processo (purificazione del gas e rigenerazione dei filtri) del gas combustibile, indispensabile per la rimozione dei contaminanti dannosi per l'integrità del motore (silani, H<sub>2</sub>S ecc.).

### Integrazione ideale con moduli ORC

Il recuperatore di calore previsto a valle del Reattore Flameless Continuo, può mettere a disposizione un fluido di processo a temperature relativamente elevate e con un flusso energe-

tico consistente, consentendo così un'integrazione ideale con moduli ORC per la produzione di energia elettrica dotati di turbina a ciclo Rankine alimentata a fluidi organici.

Normalmente, i moduli ORC sono alimentati con il calore recuperato dalle camicie di raffreddamento dei motogeneratori, dall'intercooler e dall'olio motore: attraverso l'installazione di un Reattore Flameless Continuo con recuperatore di calore in uscita prima del camino, si ha a disposizione un notevole flusso di calore recuperato dai gas di scarico e dalle reazioni di ossidazione nel reattore (tenendo conto che la temperatura dei gas in uscita dal reattore è superiore di all'incirca una cinquantina di °C rispetto a quella di ingresso), con un notevole incremento dell'efficienza energetica complessiva dell'impianto, al netto dell'energia utilizzata per il raggiungimento ed il mantenimento della temperatura di esercizio del reattore (energia elettrica per le termoresistenze di riscaldamento del letto ceramico, integrata con il dosaggio di biogas nel flusso da trattare per il mantenimento della temperatura e per i cicli di burn-out periodici di auto pulizia del reattore).

Inoltre, dal condensatore del gruppo ORC è possibile ottenere un ulteriore recupero di energia termica sotto forma di acqua calda a 80°-90°C per il riscaldamento ambientale o per scopi di processo diversi secondo le necessità del sito di installazione.



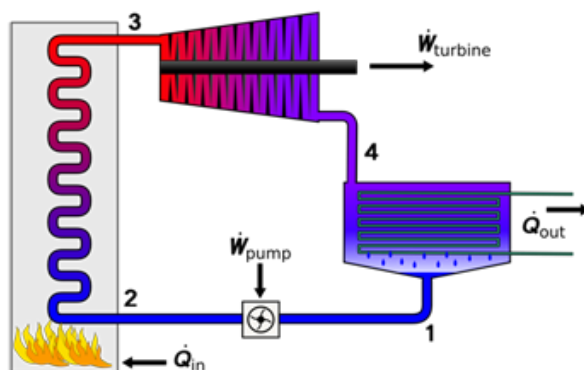
I sistemi per la produzione elettrica basati su turbina ORC rappresentano l'integrazione ideale con il Reattore Flameless Continuo (nell'immagine il mod. ZE-50-ULH da 50kWe di Zuccato Energia).

### Deparia Engineering

Deparia Engineering Srl, fondata nel 1975, progetta, costruisce ed installa impianti d'avanguardia per l'abbattimento dei reflui industriali aeriformi (SCR, SNCR, reattori termici catalitici e recuperativi, elettrofiltri, colonne ad umido ecc.) con particolare riguardo alle emissioni dei motori stazionari per la cogenerazione, un settore dove opera, unica sul mercato italiano, con tecnologie e brevetti propri. Negli ultimi anni, si è specializzata nella messa a punto di impianti di abbattimento sulle emissioni di caldaie e motori alimentati a biomasse di origine vegetale ed animale ed ha sviluppato una serie di soluzioni che permettono un funzionamento soddisfacente dei catalizzatori anche alla presenza dei particolari contaminanti tipici di questa classe di combustibili.

## Deparia Engineering Srl

Corso Europa 121  
23801 CALOLZIOCORTE (Lecco) – ITALY  
Tel. : 0341-630911 (r.a. 6 linee ISDN)  
Fax: 0341-633065  
Website: [www.deparia.com](http://www.deparia.com)  
e-mail: [info@deparia.com](mailto:info@deparia.com)



Il ciclo Rankine rappresenta il mezzo ideale per la generazione di energia elettrica da fonti di calore costituite da recuperi termici nell'ambito dei motogeneratori cogenerativi.

TECNOLOGIE INNOVATIVE PER L'AMBIENTE