

ALLEGATO TECNICO



SCHEDA PRODOTTO
MODULO DI GENERAZIONE ELETTRICA
A CICLO RANKINE ORGANICO (LT-ORC)
DA 561 kWe MONTATO SU SKID

ZE-500-LT



VIA DELLA CONSORTIA 2
37127 VERONA - ITALY
TEL +39 045 8378 570
FAX +39 045 8378 574
WWW.ZUCCATOENERGIA.IT
INFO@ZUCCATOENERGIA.IT

TECNOLOGIA IMPIANTISTICA

IN BREVE

Tecnologia:
Ciclo Rankine
Organico a bassa
temperatura
(LT-ORC)

Circuito chiuso
privo di emissioni

Un fluido vettore
convoglia il calore
prodotto dalla
fonte di calore al
modulo ORC

Il calore fa evaporare
ed espandere
un fluido di lavoro
a basso punto di
ebollizione

L'espansione del
fluido di lavoro
aziona una turbina
ad alta velocità

La turbina aziona
direttamente il
generatore

Il fluido raffredda,
condensa e
ritorna in ciclo

La struttura dell'impianto che proponiamo è basata sul cosiddetto ciclo **Rankine organico a bassa temperatura (LT-ORC)** e può essere riassunta nello schema in Figura 1.

Una sorgente di calore [1] riscalda attraverso un **circuito chiuso ad acqua calda** ed uno scambiatore primario, detto anche **evaporatore** [2], un particolare fluido di lavoro, posto all'interno di un circuito chiuso ORC.

Tale fluido organico, completamente biodegradabile ed atossico, entra in ebollizione nell'evaporatore a temperature di gran lunga inferiori a quella di ebollizione dell'acqua diventando un **gas ad alta pressione** la cui espansione muove una **turbina** [3] appositamente costruita e dimensionata.

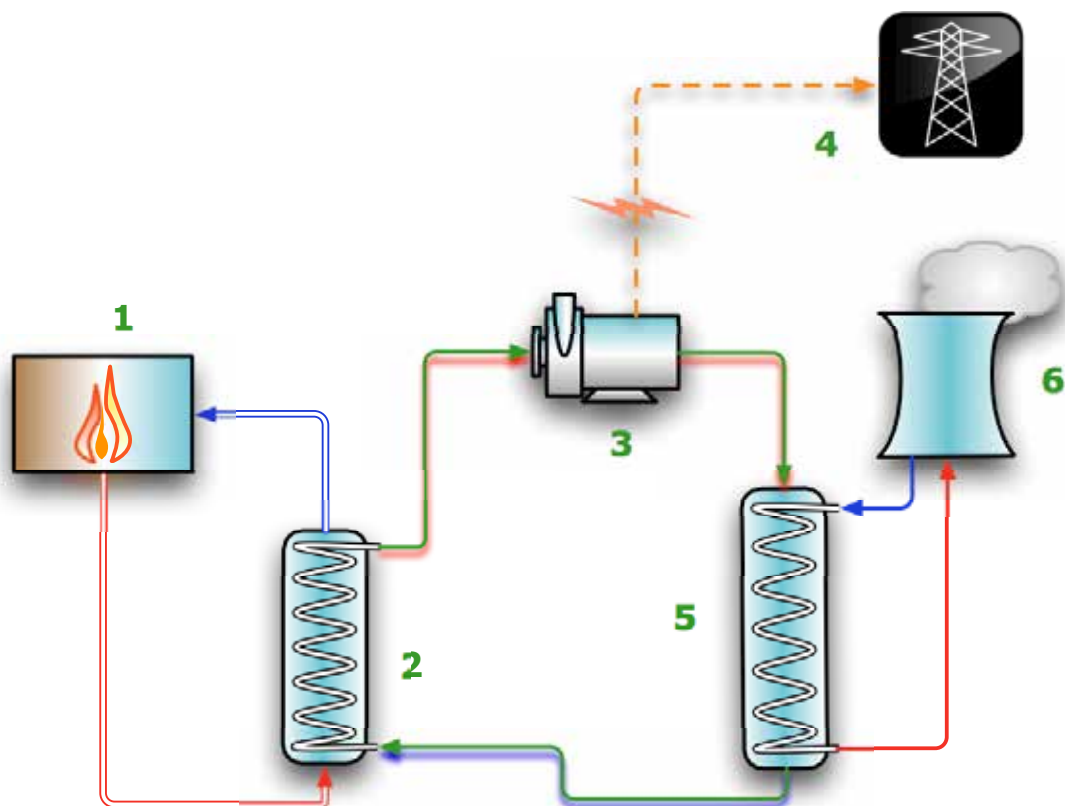
La rotazione ad alta velocità dell'albero turbina trascina con se il rotore di un **generatore** direttamente calettato su di esso, producendo elettricità [4] che può essere sia auto-consumata sia immessa in rete previa **sincronizzazione in fase, frequenza e tensione** con la corrente di rete esistente tramite un circuito detto **inverter**.

All'uscita della turbina il fluido di lavoro, ancora in forma gassosa, viene portato ad un **condensatore** (5) dove cede il calore in eccesso e ritorna ad essere un liquido che viene raccolto in un apposito serbatoio. Il liquido è quindi ora pronto per essere nuovamente **reimpresso da una pompa nello scambiatore primario** per completare così il circuito chiuso.

Il calore in eccesso rilasciato nel condensatore rappresenta una **fonte di energia termica direttamente utilizzabile** anche per altri usi: preriscaldamento o essiccazione della biomassa (riducendone così il contenuto di umidità ed aumentandone il valore energetico), riscaldamento ambientale, produzione di acqua calda per processi produttivi industriali, etc.

Qualora ciò non avvenga, il calore residuo può essere dissipato tramite una compatta **torre evaporativa** [6]

Figura 1 - Schema dell'impianto



TECNOLOGIA INNOVATIVA

Progettati e realizzati in proprio avvalendosi delle più avanzate tecnologie (analisi ad elementi finiti ed analisi fluidodinamica (CFD/CFX)), i turbogeneratori ZE sono pensati fin dall'inizio per operare all'interno di un ciclo Rankine organico a bassa temperatura, dove uno speciale fluido di lavoro offre migliori rendimenti e notevoli vantaggi rispetto alle tradizionali turbine a vapore:

- **Bassa temperatura operativa** che consente di sfruttare anche sorgenti termiche "povere";
- **Alta temperatura di condensazione** che consente l'uso di economici condensatori ad aria;
- Fluido di lavoro completamente asciutto, che non provoca erosione delle pale turbina e aumentando l'**affidabilità, e riducendo controlli e costi di manutenzione**;
- Basse pressioni operative (< 20 bar) riducono rischi, problemi normativi e costi impiantistici;
- Nessuno scarico in atmosfera (lavora in ciclo chiuso);

Il fluido di lavoro utilizzato nel circuito ORC è "ozone-friendly", atossico e 100% biodegradabile.

I turbogeneratori serie ZE – **progettati appositamente da zero** con l'obiettivo di essere installati su impianti di piccole dimensioni – implementano soluzioni mirate a massimizzare il rendimento:

- **Accoppiamento diretto turbina-alternatore**: niente attrito da riduttore di velocità;
- **Cuscinetti ceramici** dalla lunga vita operativa consentono elevati regimi di rotazione;
- **Inverter progettati e dimensionati appositamente** per ogni taglia di turbina allo scopo di immettere in rete l'energia elettrica con un rendimento di conversione ottimale.

Questa tecnologia innovativa è ormai **ampiamente collaudata** con successo nei **numerosi impianti installati da Zuccato Energia nel mondo**, dalle microcentrali a biomassa ai genset ad olio vegetale, dagli impianti a syngas e biogas alle centrali termiche di hotel fino a centrali termoelettriche ed ai sistemi di teleriscaldamento comprensoriali.

ALTA POTENZA, ALTA EFFICIENZA

Il modulo ZE-500-LT è **il modulo di maggior taglia tra quelli offerti da Zuccato Energia**, progettato per operare in collegamento con sistemi di produzione acqua surriscaldata (caldaie) nelle applicazioni per la **produzione primaria di energia elettrica** ma ugualmente a proprio agio nelle applicazioni di **recupero termico industriale** laddove siano disponibili adeguate quantità di cascami termici a media temperatura ($\geq 160^{\circ}\text{C}$).

Se necessario, più moduli possono essere **accoppiati modularmente con unità simili o di minore taglia** per sfruttare tutta l'energia termica disponibile. L'utilizzo di **scambiatori a fascio tubiero** per il "lato freddo" del modulo consente al sistema di ottenere la **massima efficienza** (16%) tra tutti i prodotti Zuccato Energia.

IN BREVE

Possibilità di sfruttare sorgenti "povere"

Semplicità impiantistica

Nessuna erosione delle pale turbina

Minor pressione, maggior sicurezza

Nessuno scarico in atmosfera

Alta affidabilità

Tecnologia all'avanguardia

Funzionamento automatizzato senza operatore

Impianto monitorabile e controllabile da remoto



TECNOLOGIA PROVATA SUL CAMPO

I sistemi ORC Zuccato Energia sono in uso da anni in numerose installazioni in tutto il mondo, sia per la produzione primaria di energia che per il recupero termico da processi e motori.

Le seguenti foto sono solo una piccola galleria di alcuni degli impianti installati.

IN BREVE

Tecnologia
ampiamente
collaudata

Dozzine di
installazioni
già in funzione

Alcuni impianti
sono in funzione
non-stop
dal 2012
(salvo manutenzione
programmata)

Produzione primaria
di energia in
collegamento con
caldaie

Recupero termico per
l'efficiamento di
motogeneratori

Recupero termico da
motori navali

Recupero termico da
processi industriali

Impianti solari
termodinamici
ibridi

Impianti geotermici



Sommalombardo (VA) - Produzione elettrica da caldaia alimentata a biomassa (scarti di segheria)



Heuksan (Corea del Sud) - Recupero termico da centrale termoelettrica (generatori ad olio pesante)



Città della Pieve (PG) - Produzione elettrica da caldaia alimentata a biomassa (sfalci di potatura)



Mestre (VE) - Recupero termico da caldaia a biomassa e da turbine ad aria calda



Rovato (BS) - Produzione elettrica da caldaia alimentata a biomassa (pallet a fine vita)



Benneckestein (Germania) - Recupero termico da camicie e fumi di scarico di gensets a biogas



Castrovillari (CS) Produzione elettrica da caldaia alimentata a biomassa (sfalci di potatura)

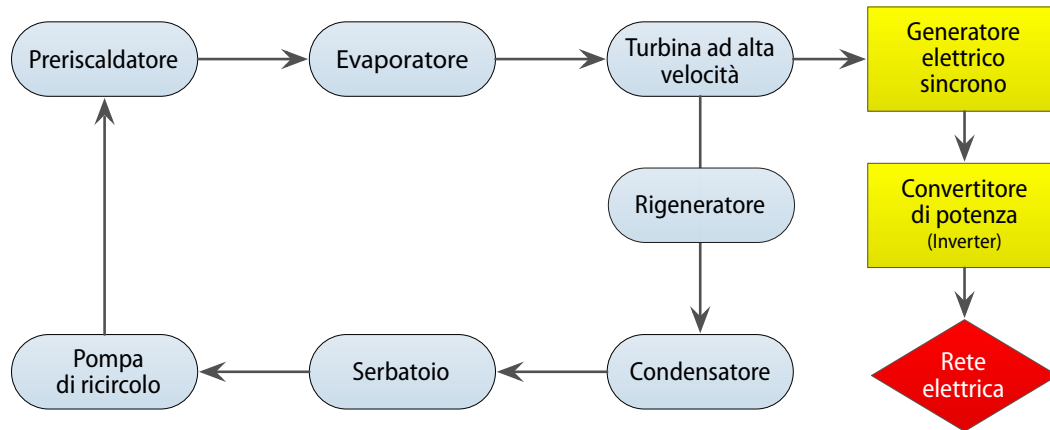


Borgoforte (MN) - Recupero termico da camicie e fumi di scarico di gensets a biogas

Per un elenco più aggiornato e molto più esteso di nostre referenze, vi consigliamo di consultare la sezione "Referenze" del nostro sito web, www.zuccatoenergia.it.

COMPONENTI DEL CIRCUITO ORC

Oltre al fluido di lavoro precedentemente menzionato, il modulo di produzione energetica ZE-500-LT si compone di vari elementi, elencati nello schema a blocchi sottostante.



- **Preriscaldatore:** in questo scambiatore di calore, il fluido di lavoro viene preriscaldato utilizzando il calore contenuto nel fluido vettore circolante nel circuito diatermico in ingresso;
- **Evaporatore:** in questo scambiatore il calore della sorgente termica, convogliato dal fluido vettore, riscalda il fluido di lavoro che passa da liquido a gas ad alta pressione;
- **Turbina:** spinta dall'espansione del fluido di lavoro, la girante ultraleggera raggiunge altissime velocità (fino a 18.000 rpm nei moduli di minor taglia);
- **Generatore elettrico sincrono:** connesso direttamente alla girante della turbina, il suo rotore ruota ad alta velocità in un campo magnetico permanente, producendo energia elettrica;
- **Inverter:** modifica tensione, frequenza e fase della corrente elettrica prodotta dal generatore per consentire l'interfacciamento dell'alternatore alla rete elettrica;
- **Rigeneratore:** pre-preriscalda il fluido di lavoro usando parte del calore del fluido stesso in uscita dalla turbina al fine di aumentare l'efficienza energetica;
- **Condensatore:** riduce la temperatura del fluido di lavoro in fase gassosa all'uscita della turbina, per consentirgli di ritornare alla originaria fase liquida;
- **Serbatoio di raccolta** per il fluido di lavoro in forma liquida;
- **Pompa di ricircolo** per il rilancio in circolo del fluido di lavoro;

DATI DI PROCESSO

Di seguito i dati di processo stimati per l'impianto:

PRERISCALDATORE + EVAPORATORE	VALORE
Potenza termica totale in ingresso alla turbina	3 500 kW _T
Temperatura fluido vettore (in/out)	= > 160/145°C
Portata massima fluido vettore	54.03 kg/s

CONDENSATORE	VALORE
Potenza termica da dissipare	2 909 kW _T
Temperatura acqua condensatore (in/out)	28/38°C
Portata acqua circuito condensazione	69.41 kg/s

FLUIDO VETTORE

Il **fluido vettore** è il liquido usato per convogliare il calore dalla fonte al modulo ORC, dove tale calore viene usato per far evaporare il fluido **fluido di lavoro** descritto nella pagina successiva.

I due fluidi operano in circuiti separati e non si mescolano mai - **solo il calore viene trasferito** tra di loro.

Zuccato Energia ha scelto di usare **semplice acqua** come fluido vettore invece dell'olio diatermico usato altrove, leggermente più efficiente ma molto più pericoloso in quanto infiammabile e potenzialmente inquinante in caso di perdite.

In questo impianto, il fluido vettore è **acqua surriscaldata** a 160°C - ossia acqua al di sopra del punto di ebollizione ma mantenuta liquida dalla pressione.

IN BREVE

Design semplice e diretto

Componentistica ad alta efficienza

Fluido vettore sicuro ed ecologico (acqua surriscaldata)

IN BREVE

Fluido di lavoro esclusivo

Basso punto di evaporazione, alto punto di condensazione

Innocuo per l'uomo e per l'ambiente

Circuito chiuso- nessuna contaminazione

Non erode le pale della turbina

Turbina radiale inflow ed alta velocità progettata appositamente

Generatore incorporato, calettato direttamente sull'asse turbina

Convertitore di potenza integrato appositamente progettato

FLUIDO DI LAVORO

Lo speciale fluido di lavoro utilizzato da Zuccato Energia - una speciale **miscela azeotropica di idrofluorocarburi ecocompatibili** - è la componente chiave che ha permesso a Zuccato Energia di realizzare questa tipologia di impianti. Tale fluido possiede le seguenti ottime caratteristiche:

- **Ampio intervallo di lavoro** che consente di sfruttare fonti prima ritenute inutilizzabili;
- **Alta temperatura di condensazione** che consente di usare torri di raffreddamento standard;
- **Completamente asciutto**, quindi nessuna cavitazione né erosione delle pale della turbina;
- **Basse pressioni operative** (20 bar), quindi maggior sicurezza e minori burocrazia e costi;
- **Completamente "ozone-friendly", organico, atossico e 100% biodegradabile**, per un piena eco-compatibilità ed una maggior sicurezza (perdite accidentali non sono dannose);
- **Minima necessità di integrazione** integrato poiché lavora in circuito chiuso.

In più grazie al fluido non c'è consumo d'acqua o vapore e l'impianto risulta quindi economico nella gestione oltre che molto semplice e compatto.

All'interno dell'impianto il fluido subisce vari passaggi di stato e trattamenti. Le caratteristiche di processo sono riassunte nella seguente tabella:

FLUIDO DI LAVORO	
Range di lavoro	60-165°C
Temperatura di condensazione	~33°C
Pressioni operative	max. 20 bar
Temperatura in ingresso alla turbina	145 °C
Pressione in ingresso alla turbina	16,08 bar

TURBINA, GENERATORE ED INVERTER

Le seguenti tabelle riportano le specifiche tecniche principali della turbina e del generatore e convertitore di potenza ad essa collegati.

TURBINA	
Tipo	Turbina radiale centripeta ad ugelli fissi, calettata direttamente sull'asse del generatore
Temperatura operativa (in/out)	145°C / ~ 100°C
Pressione di stadio	PS 16 (tested to 24 bar)
Materiali	Turbina: Acciaio monolitico lavorato CNC Girante: Lega d'alluminio aeronautica
Controllo di velocità	Anello di retroazione sulla corrente in uscita
Guarnizioni e tenute	Labirinto sigillato su retro girante ed (opzionalmente) all'interfaccia con il generatore. <i>Verso l'esterno:</i> statiche, O-rings

GENERATORE	
Tipo	Sincrono a magneti permanenti
Potenza in uscita nominale	561 kWe
Velocità di rotazione	9 000 Rpm nominali
Tensione	503- 577 VAC @ 500Hz
Raffreddamento	Camicia ad acqua, dissipazione 20 kW _T
Fluido refrigerante	Acqua / glicole, T _{IN} < 40°C, portata 30 l/min

CONVERTITORE DI POTENZA (INVERTER)	
Tipo	2 x Moduli IGBT sincronizzati alla rete
Potenza in uscita alla rete (nominale /max)	550 kWe / 700 kWe max (2 moduli da 350 kW)
Tensione e frequenza	400 V + 5% Tol. @ 50 Hz +0,5% Tol.
Raffreddamento	Ad acqua
Temperatura ambiente max accettabile	40°C
Chopper di frenatura	Incorporato, su resistenze esterne

COMPONENTI DEL SISTEMA

SCAMBIATORI DI CALORE

Gli **scambiatori di calore del "lato caldo"** di questo modulo ORC sono del tipo **a piastre saldobrasate** - una soluzione compatta ed efficiente per lo scambio termico, basata sull'accoppiamento di più piastre di acciaio corrugate a spina di pesce che vengono assemblate ciascuna invertita di 180° rispetto all'adiacente. Le sezioni di passaggio dei fluidi sono molto contenute, e quindi l'ingombro è minimo in relazione alla capacità di scambio termico. In breve, offrono:

- **Ridotte dimensioni** : occupano fino ad un decimo dello spazio occupato da altri tipi di scambiatori, agevolando il trasporto riducendo le dimensioni dell'impianto.
- **Basso differenziale termico**: lavorano efficientemente anche con un minimo salto termico tra i due fluidi tra i quali scambiare calore, così da migliorare l'efficienza del sistema;
- **Basse perdite di carico**: nella maggior parte dei casi la perdita di carico nello scambiatore saldobrasato è minore di quella degli scambiatori coassiali.
- **Resistenza a sporco e corrosione**: l'elevata turbolenza e lo sfruttamento totale della superficie riducono i depositi dovuti ad eventuali solidi in sospensione e li rendono pulibili con normali fluidi detergenti. Materiali costruttivi di qualità donano resistenza alla corrosione.

Gli **scambiatori di calore del "lato freddo"** sono invece del classico tipo **a fascio tubiero** il quale, oltre ad avere costi ridotti rispetto a scambiatori a piastre equivalenti, offre migliori *performance* e maggiore facilità di pulizia in presenza di possibili contaminazioni dell'acqua di raffreddamento.

SCAMBIATORI DI CALORE	
Tipologia	A piastre saldobrasate (evaporatori e preheater) A fascio tubiero (rigeneratore e condensatore)
Pressioni max	30 bar (lavoro) 39 bar (collaudo) 225 bar (scoppio)
Materiali usati	Acciaio AISI316 e rame 99% (evaporatore/preheater) Acciaio (rigeneratore/condensatore)
Temperatura max di lavoro	195°C

SERBATOIO RACCOLTA CONDENSE

Necessario per mantenere un adeguata riserva di fluido di lavoro allo stato liquido, questo serbatoio in acciaio al carbonio trattato antiruggine con raccorderia PN25 ha una capacità di **500 litri** ed ha un **sensore di livello incorporato**.

POMPE FLUIDO DI LAVORO

Hanno lo scopo di rimettere in circolo il fluido vettore condensato. Il loro motore è del tipo a gabbia in cortocircuito con ventilazione esterna. **Energeticamente efficiente** (classe I), tale motore ha una protezione IP55, isolamento in classe F fino a 155°C ed è certificato conforme a EN 60034-1. La parte idraulica viene mantenuta in posizione tra il coperchio superiore e il corpo pompa mediante tiranti.

QUADRO DI CONTROLLO

Il quadro di controllo, ospitato in un **armadio a lato skid**, contiene tutta l'elettronica di **controllo, supervisione, automazione e comunicazione** del modulo ORC. Dotato di un **pannello di controllo locale touch-screen** oltre ad un'**interfaccia di controllo remota**, contiene tutta l'elettronica di **gestione di processo**, incluso il **controllo di pressioni e temperature** ed i sistemi di **gestione allarmi** con messaggistica in italiano. Il pannello di controllo include un **modem router cellulare** che consente un controllo remoto via internet protetto da password con vari livelli e policies di utilizzo.

INVERTER E RESISTENZE DI FRENATURA

Due armadi a lato skid contengono la circuiteria dei **moduli convertitori di potenza** (*inverters*) che si occupano di adattare tensione, fase e frequenza dell'energia generata prima di inoltrarla al quadro di **interfaccia verso la rete elettrica**, che comprende la protezione da basse tensioni. Due altri armadi ospitano i **banchi di resistenze di frenatura** sui quali gli inverter deviano per dissiparla l'energia generata durante gli arresti di emergenza, quando per ragioni di sicurezza lo skid viene completamente isolato dalla rete.

IN BREVE

Scambiatori a piastre, compatti ed efficienti per il lato caldo

Robusti scambiatori a fascio tubiero per il lato freddo

Ampia riserva di fluido di lavoro

Pompa di ricircolo ad alta efficienza

Sistema di controllo completamente automatizzato

Funzionamento senza operatore

Quadro di controllo touch-screen

Controllo remoto via internet mobile

Inverter e quadro di parallelo inclusi

Resistenze di frenatura incluse

IN BREVE

Versione standard composta da 2 skid + pannelli di controllo per installazioni al chiuso

Dimensioni:
Skid lato caldo
(principale):
5.0 x 2.8 x h 3.2 m
Skid lato freddo:
5.2 x 3.3x h 4.6 m

Pesi a secco :
7 t (lato caldo)
11.5 t (lato freddo)
3 t (pann. contr.)

Disponibile in versione pannellata

Disponibile in versione containerizzata per esterni

Disponibili a richiesta versioni su misura

E' STATO FATTO IL POSSIBILE PER FAR SI CHE I DATI CONTENUTI NEL PRESENTE DOCUMENTO FOSSERO CORRETTI ED AGGIORNATI.

CIONONOSTANTE, ESSI SONO DA CONSIDERARSI COME PURAMENTE INDICATIVI, NON CONTRATTUALMENTE VINCOLANTI E SOGGETTI A CAMBIAMENTO SENZA PREAVVISO .

© 2018 ZUCCATO ENERGIA SRL
ALL RIGHTS RESERVED

IDENTIFICATIVO DOCUMENTO :
ZE SK ZE500LT 190607 IT

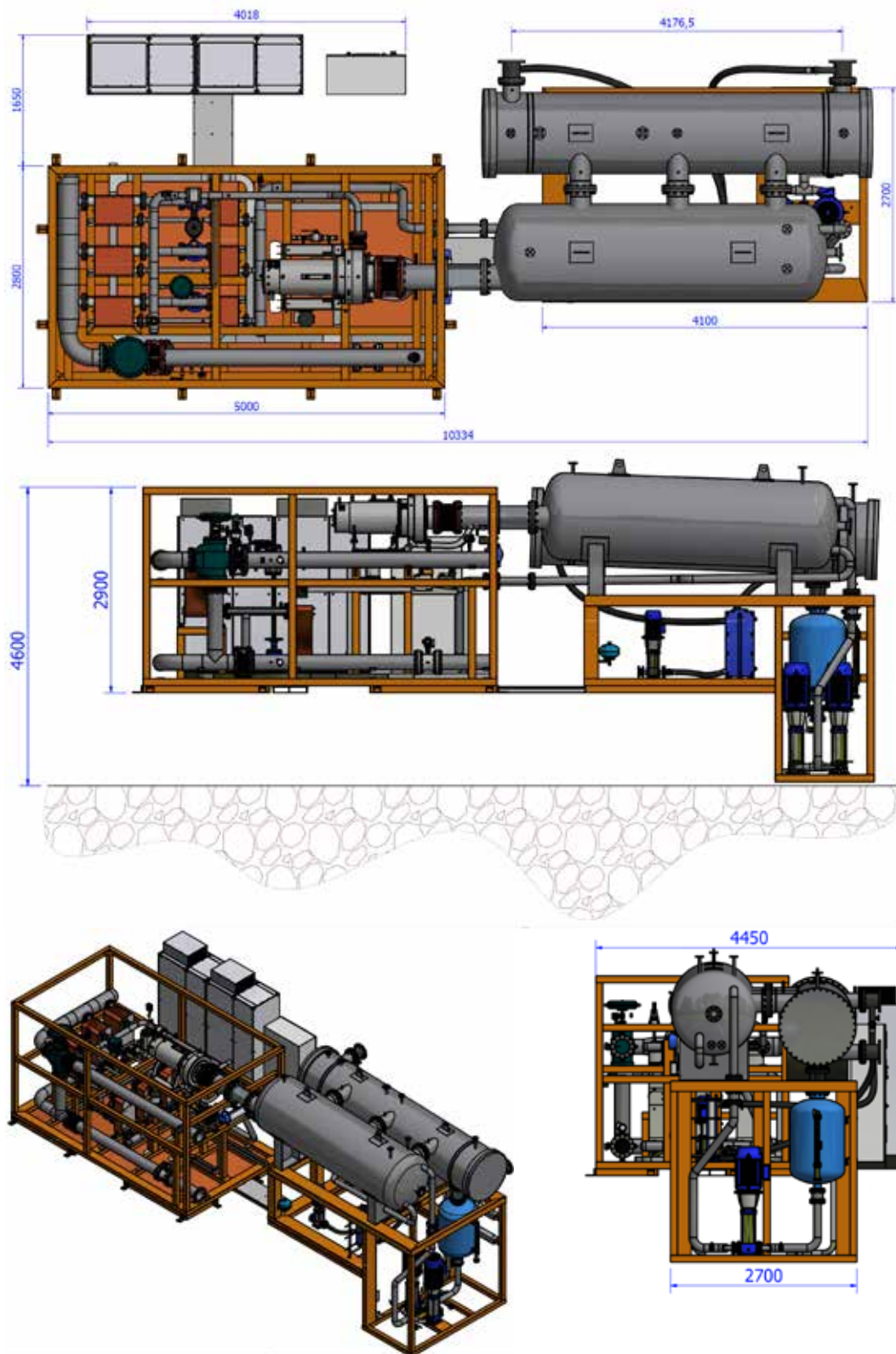
DIMENSIONI DEL SISTEMA

Il modulo ORC è fornito montato su **due telai autoportanti** (skid) **interconnessi**, uno dei quali ospita i componenti del cosiddetto "lato caldo" (turbina, evaporatori, preheater...) mentre l'altro ospita il "lato freddo" - rigeneratore, condensatore, serbatoio condense e pompe.

Quadri elettrici ed inverter sono in armadi separati.

Gli schemi seguenti riportano gli ingombri del **sistema standard**, pensato per una **installazione al chiuso**, al riparo dalle intemperie, o quantomeno in luogo protetto dalla pioggia (es. tettoia).

Sono poi disponibili sia versioni pannellate che containerizzate per esterni.



Si prega di notare che lo skid richiede almeno **1 metro e mezzo di spazio libero** tutt'attorno per un facile accesso manutentivo.

Zuccato Energia, in quanto progettista e produttore, può inoltre costruire su commissione skid su misura con dimensioni differenti da quelle standard per adattarsi alle necessità del cliente.