

SCHEDA PRODOTTO

MODULO DI PRODUZIONE ELETTRICA
A CICLO RANKINE ORGANICO A BASSA
TEMPERATURA (LT-ORC) DA 300 kW_E
SU TELAIO AUTOPORTANTE

ZE-300-ULH⁺



Via della Consortia 2
37127 Verona - Italy
Tel +39 045 8378 570
Fax +39 045 8378 574
www.zuccatoenergia.it
info@zuccatoenergia.it

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.

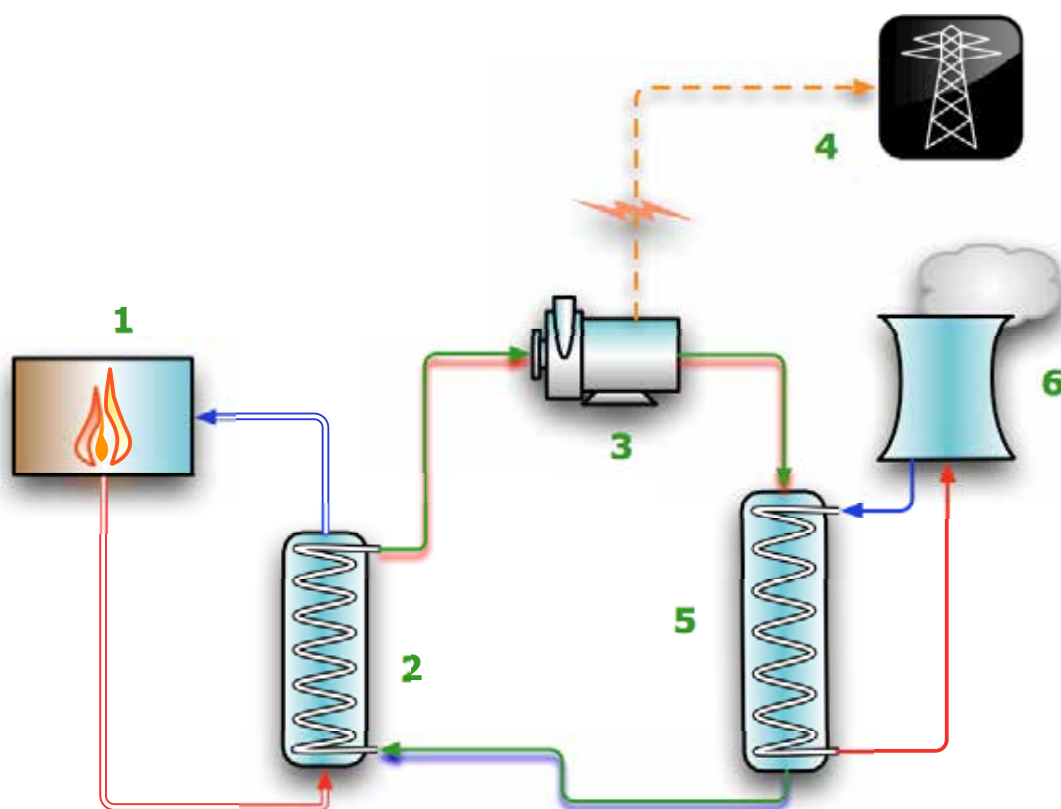
La rotazione ad alta velocità dell'albero turbina trascina con sé il rotore di un **generatore direttamente calettato su di esso**, producendo elettricità [4] che può essere sia auto-consumata sia immessa in rete previa **sincronizzazione in fase, frequenza e tensione con la corrente di rete** esistente 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** oppure un **dry-cooler** [6]

Figura 1 - Schema dell'impianto



ELEVATE PRESTAZIONI

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 totalmente asciutto**, che non provoca erosione delle pale turbina dando al sistema elevata affidabilità e controlli e costi di manutenzione ridotti;
- **Basse pressioni operative** (≤ 20 bar), che significano maggior sicurezza di funzionamento, minore burocrazia e minori costi d'impianto;
- **Nessuno scarico in atmosfera** in quanto il sistema opera a circuito chiuso.

COMPATIBILITÀ AMBIENTALE

Dal punto di vista ambientale, i sistemi ZE sono impeccabili:

- **Recuperano risorse altrimenti sprecate** come il calore residuo e gli scarti di lavorazione oppure semplificano lo sfruttamento di risorse rinnovabili solari e geotermiche;
- **Usano normale acqua come fluido di trasferimento termico** invece di olio diatermico pericoloso per l'ambiente;
- **Usano un fluido di lavoro "ozone-friendly"**, atossico, non infiammabile in forma liquida e 100% biodegradabile;
- **Sono costruiti con materiali riciclabili ed ecosostenibili**, utilizzano un minimo di parti in plastica e non impiegano sostanze tossiche nella loro costruzione.

SOLUZIONI INNOVATIVE

I turbogeneratori serie ZE sono stati **progettati appositamente da zero** con l'obiettivo di essere installati su impianti di piccole dimensioni (<1 MWe). Sono state quindi implementate soluzioni ingegneristiche concepite per elevarne al massimo il rendimento:

- **Accoppiamento diretto turbina-alternatore**, privo degli attriti di eventuali ingranaggi;
- **Uso di cuscinetti ceramici** per una lunga vita operativa ed elevati regimi di rotazione;
- **Turbine ed inverter appositamente progettati** per ogni taglia di impianto allo scopo di ottenere una conversione di energia meccanica in elettrica ed un'immissione in rete ottimali.

La nostra tecnologia innovativa è **stata già ampiamente collaudata con successo** in dozzine di impianti in Europa, Asia, Africa ed America, dagli impianti a biomassa e biogas in Italia agli impianti solari ibridi in Africa, dalle fattorie americane alle centrali elettriche in Sud Corea.

Tutti i sistemi Zuccato Energia sono equipaggiati con **sistemi di telecontrollo e telediagnosi** che consentono un monitoraggio costante ed un intervento in tempo reale in caso di malfunzionamento attraverso la rete cellulare 3G / 4G / GPRS / EDGE e qualsiasi dispositivo in grado di navigare sul Web (PC o tablet).



IN BREVE

Possibilità di sfruttare sorgenti "povere"

Semplicità impiantistica

Nessuna erosione delle pale turbina

Minor pressione, maggior sicurezza

Nessuno scarico in atmosfera

Elevata eco-compatibilità e sostenibilità

Alta affidabilità

Tecnologia all'avanguardia

Funzionamento automatizzato senza operatore

Impianto monitorabile e controllabile da remoto

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'efficientamento di
motogeneratori

Recupero termico da
motori navali

Recupero termico da
processi industriali

Impianti solari
termodinamici
ibridi

Impianti geotermici

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.



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)

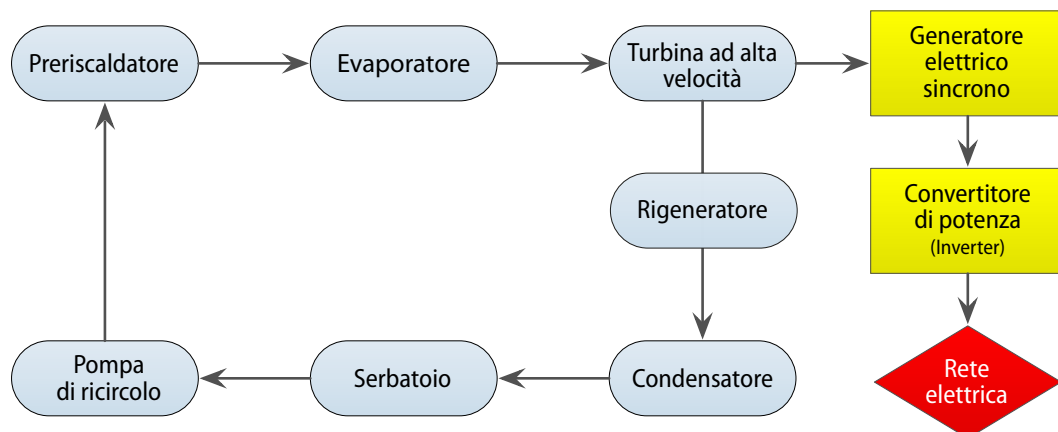


Borgoforte (MN) - Recupero termico da camicie e fumi di scarico di gensets a biogas

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:** ove presente, 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 e **pompa di ricircolo** per il rilancio in circolo del fluido di lavoro ivi raccolto;

DATI DI PROCESSO

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

PRERISCALDATORE + EVAPORATORE	
Potenza termica totale in ingresso alla turbina	3 600 kW _T
Fluido vettore termico	Acqua calda
Temperatura fluido vettore (in / out)	≥ 95 °C / 80°C
Portata massima fluido vettore	57,14 kg/s
Potenza elettrica in uscita dalla turbina	300 kW _E

CONDENSATORE	
Potenza termica da dissipare	3 249 kW _T
Temperatura acqua raffreddamento (in/out)	26°C / 31°C
Portata acqua circuito di condensazione	155.24 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**.

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

In questo impianto, il fluido vettore è quindi normalissima **acqua calda a 95°**.

IN BREVE

Design
semplice e
diretto

Componentistica
ad alta efficienza

Fluido vettore
sicuro ed
ecologico
(acqua calda)

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 centripeta ad 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** poiché lavora in circuito chiuso.

In più grazie al funzionamento in ciclo chiuso di tale fluido **non c'è consumo d'acqua o vapore** e l'impianto risulta quindi **economico** nella gestione oltre che più 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	
Gamma di temperatura di lavoro	60-165°C
Temperatura di condensazione	~33°C @ 1bar
Pressione di lavoro	max. 20 bar
Portata massica di vapore organico	~ 20 Kg/s

TURBINA, GENERATORE ED INVERTER

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

TURBINA	
Tipo	Turbina radiale centripeta monostadio ad ugelli fissi, calettata direttamente sull'asse generatore
Temperatura operativa (Input/Output)	81°C in / ~ 60°C out
Pressione di stadio	PS 4.42 (tested to 10 bar)
Materiali	Acciaio monoblocco lavorato CNC (corpo) Lega di alluminio aeronautico (girante)
Controllo velocità	Anello di retroazione sulla corrente in uscita
Guarnizioni e tenute	Labirinto sigillato su retro girante ed (opzionalmente) all'interfaccia con il generatore. Verso l'esterno: statiche, O-rings

GENERATORE	
Tipo	Sincrono a magneti permanenti
Potenza in uscita nominale	300 kW _E
Velocità di rotazione	13.000 Rpm (12...18 kRpm)
Rettificatore /sincronizzatore	Incorporato / Incluso
Raffreddamento	Camicia d'acqua
Liquido di raffreddamento	Acqua + glicole @ T _{IN} <40°C

CONVERTITORE DI POTENZA (INVERTER)	
Tipo	IGBT sincronizzato alla rete, raffreddato ad aria
Potenza in uscita alla rete (nominale)	300 kW _E
Tensione / frequenza di uscita	da 380 a 480 V trifase, 50/60Hz
Temperatura massima operativa	40°C
Chopper di frenatura	incluso, 300 kW

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 sporcamento 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 preriscaldatori) A fascio tubiero (rigeneratore e condensatore)
Pressioni max	30 bar (lavoro) 39 bar (collaudo) 225 bar (scoppio)
Materiali usati	Acciaio AISI316 e rame 99% (evaporatori/preriscald.) 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 PN16 ha una capacità di **600 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

Pompe 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

DIMENSIONI DEL MODULO ZE-300-ULH⁺

IN BREVE

**Versione standard
per installazioni
al coperto montata
su 2 skid+ pannelli
di controllo
separati**

Dimensioni skid:
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 (pannelli di
controllo)**

**Disponibile
in versione
pannellata**

**Disponibile in
versione
containerizzata
resistente alle
intemperie per
installazioni
all'aperto**

**Versioni
personalizzate
disponibili
a richiesta**

Il sistema è montato su **due telai autoportanti** (skid) **interconnessi**, uno dei quali ospita i componenti del cosiddetto "lato caldo" (turbina, evaporatori, preriscaldatore...) mentre l'altro ospita i componenti del "lato freddo" - rigeneratore, condensatore, serbatoio fluido di lavoro e pompe.

Pesi e dimensioni di tali skid sono elencati a sinistra e nella tabella sottostante.

Tener presente che gli skid necessitano di **almeno 1.5 metri di spazio libero tutt'attorno** per un agevole accesso manutentivo.

Zuccato Energia, in quanto sviluppatore e produttore, può anche costruire su richiesta lo skid in dimensioni non-standard su misura per le esigenze del cliente.

DIMENSIONI DEL SISTEMA	
Lunghezza complessiva (skid interconnessi)	10.5 m
Larghezza complessiva (skid interconnessi)	4.5 m
Altezza complessiva (skid interconnessi)	4.6 m
REQUISITI SPAZIO MANUTENTIVO	
Spazio libero aggiuntivo necessario sul piano orizzontale per accesso manutentivo	≥ 150 cm su ciascun lato degli skids
Spazio libero aggiuntivo necessario sul piano verticale per accesso manutentivo	≥ 150 cm al di sopra degli skids
AREA TOTALE NECESSARIA	
Lunghezza (skid+spazio manutentivo)	13.5 m
Larghezza (skid+spazio manutentivo)	7.5 m
Altezza (skid+spazio manutentivo)	7.6 m
PESI	
Peso complessivo stimato a secco	21.5 Ton
Peso complessivo stimato operativo	22.9 Ton
Pressione al suolo stimata	0.83 t/m ²

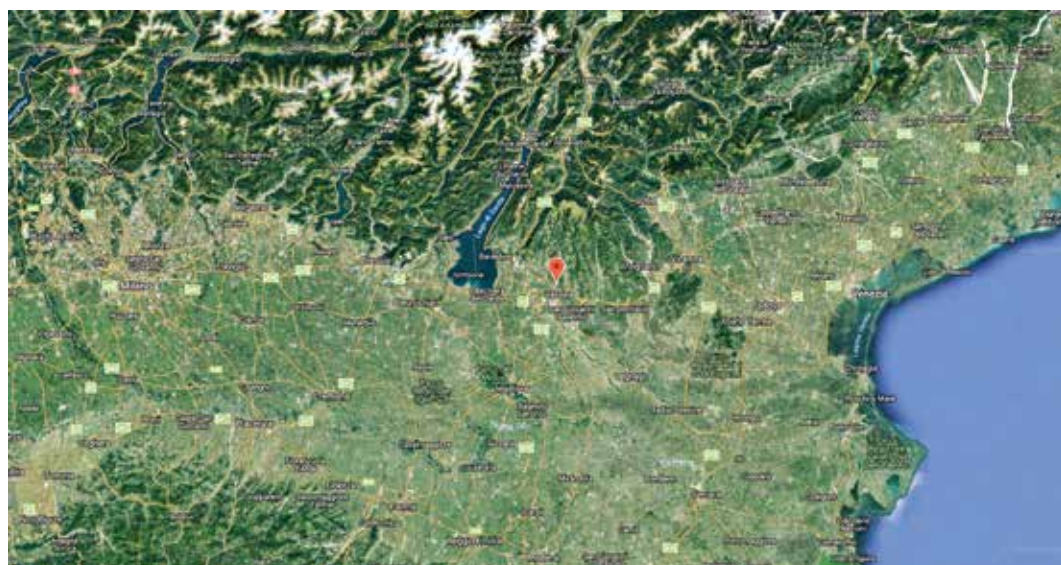
CONTATTI ZUCCATO ENERGIA

Sede Legale ed Operativa: Via della Consortia,2 - 37127 Verona (Italia)

Telefono : +39 045 8378 570 - **Telefax:** +39 045 8378 574

E-Mail: info@zuccatoenergia.it - **Sito Web :** <http://www.zuccatoenergia.it>

Orari di Ufficio: Da Lunedì a Venerdì, dalle 8:30 alle 12:30 e dalle 14:30 alle 18:30 CET



È STATO FATTO IL POSSIBILE PER FAR
SÌ CHE I DATI CONTENUTI IN QUESTO
DOCUMENTO FOSSERO CORRETTI ED
AGGIORNATI.

CIONONOSTANTE, ESSI DEVONO
ESSERE CONSIDERATI COME PU-
RAMENTE INDICATIVI, NON CON-
TRATTUALMENTE VINCOLANTI E
SOGGETTI A CAMBIAMENTO SENZA
PREAVVISO.

© 2019 ZUCCATO ENERGIA SRL
ALL RIGHTS RESERVED

IDENTIFICATIVO DOCUMENTO :
ZE SK 300 ULP 190320 IT