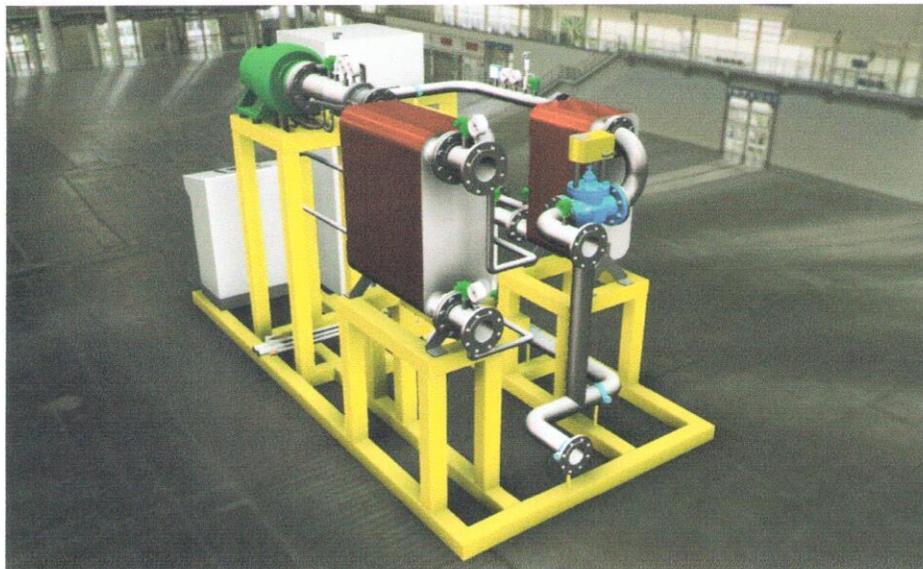




## ALLEGATO TECNICO

# DESCRIZIONE TECNICA IMPIANTO DI GENERAZIONE ELETTRICA 150KW<sub>E</sub>



SOCIETÀ A RESPONSABILITÀ LIMITATA  
SEDE LEGALE ED OPERATIVA : VIA DELLA CONSORTIA 2 - 37127 VERONA  
COD.FISC. / PARTITA I.V.A 02117430187 • TEL.0458 378 570 - FAX 0458 378 574

## SOMMARIO

LO STADIO DI PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA .....	3
L' INNOVATIVA TECNOLOGIA DELLE TURBINE ORC-LT ZUCCATO ENERGIA .....	6
DATI DI PROCESSO .....	7
DATI SPECIFICI TURBINA ORC-LT ZUCCATO ENERGIA .....	8
FLUIDO DI PROCESSO .....	9
MACCHINARI COSTITUENTI IL CIRCUITO ORC .....	10
DESCRIZIONE E SPECIFICHE TECNICHE COMPONENTI MODULO ORC .....	11
SCAMBIATORI .....	11
SERBATOIO DI RACCOLTA CONDENSE.....	12
POMPA FLUIDO VETTORE.....	12
QUADRO DI CONTROLLO .....	12
TORRE EVAPORATIVA (OPZIONALE) .....	13

## LO STADIO DI PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA

Attualmente esistono diversi sistemi di generazione energetica:

1. Generatori tradizionali che producono solo energia elettrica;
2. Sistemi di cogenerazione, che producono contemporaneamente energia elettrica ed energia termica a bassa temperatura;
3. Sistemi di trigenerazione produzione che in aggiunta producono energia frigorifera;
4. Sistemi di quadrigenerazione in cui gli stessi fumi vengono utilizzati per altri scopi come, ad esempio, "fertilizzante" aereo nelle serre, fonte di CO<sub>2</sub>, ecc.

Il sistema che proponiamo appartiene alla seconda categoria con possibile estensione alla terza e funziona utilizzando energia termica.

Fino ad ora gli svantaggi intrinseci delle tradizionali turbine a vapore ne avevano reso poco pratico l'utilizzo su impianti caratterizzati da potenze elettriche comprese tra i 40 e 500kW<sub>e</sub>. Per soddisfare questa esigenza è stato progettato e realizzato il turbogeneratore Zuccato Energia ORC-LT (Low Temperature Organic Rankine Cycle, ciclo Rankine organico a bassa temperatura), cuore dello stadio di produzione energetica. Questo sistema è stato concepito con il preciso proposito di raggiungere i livelli di prestazioni e di affidabilità dei grandi impianti di generazione così da potersi inserire nel mercato delle apparecchiature di media e piccola scala.

I sistemi ORC-LT di Zuccato Energia (Figura 1) consentono a piccole utenze termiche superiori ai 300 kW<sub>t</sub> di trasformarsi in produttori di energia elettrica, soddisfacendo le politiche di produzione energetica ecosostenibile e decentrata auspicate da molti governi e sfruttando - ove possibile - i piani di incentivazione previsti a tale scopo.



Figura 1: Immagini di una coppia di turbogeneratori di recente installazione aventi una potenza elettrica complessiva di 300 kW.

In linea di principio, l'ORC-LT è un tipo speciale di ciclo termodinamico chiuso la cui implementazione pratica è descritta sinteticamente nel seguente disegno (Figura 2).

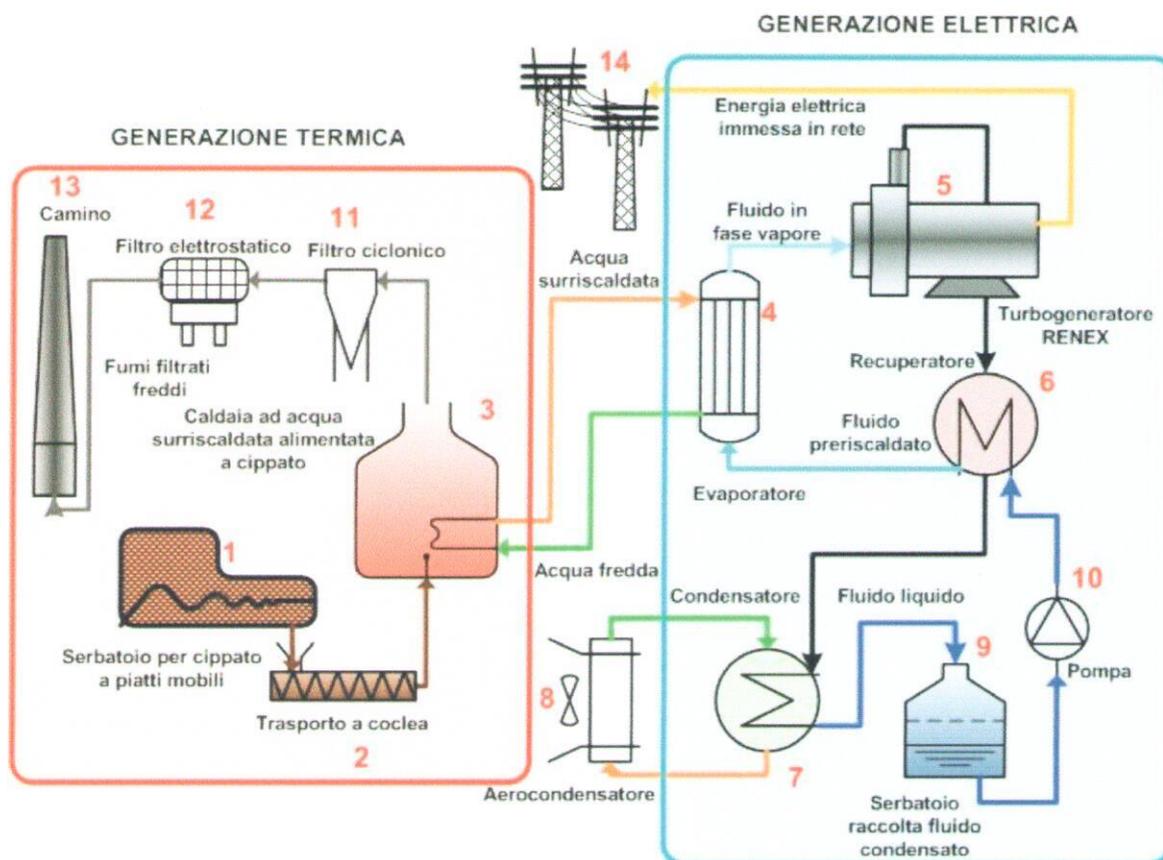


Figura 2: Schema di implementazione del processo Zuccato Energia LT-ORC - (1- serbatoio di cippato a piatti mobili; 2- trasportatore a coclea per alimentazione caldaia; 3- fornace a biomassa con caldaia ad acqua surriscaldata per generazione termica; 4- evaporatore acqua surriscaldata/fluido vettore; 5- turbina ORC-LT Zuccato Energia; 6- recuperatore per preriscaldare il fluido; 7- scambiatore per condensazione del fluido; 8- condensatore ad aria per disperdere il calore non utilizzato del fluido; 9- vaso di raccolta fluido vettore liquido; 10- pompa del ciclo ORC; 11- depolverizzatore ciclonico; 12- filtro elettrostatico; 13- camino; 14- immissione in rete dell'energia elettrica (cabina elettrica di potenza).

Il calore generato da una sorgente qualsiasi viene ceduto, tramite uno scambiatore primario, ad un diatermico, generalmente acqua fredda, che si surriscalda fino a 155°C (3) e che successivamente entra nell'evaporatore (4) dove avviene il trasferimento di energia termica al fluido di lavoro fulcro della tecnologia LT-ORC di Zuccato Energia.

L'utilizzo di questo fluido organico, completamente biodegradabile ed atossico, per la generazione di energia elettrica è un brevetto registrato di Zuccato Energia. In aggiunta il liquido di lavoro se riscaldato inizia a bollire a temperature di gran lunga inferiori a quella dell'acqua (40÷50°C) e, se viene esposto ai 150°C tipici di un circuito diatermico ad acqua surriscaldata, vaporizza trasformandosi in un gas ad alta pressione che viene utilizzato per far girare il rotore di una turbina (5) appositamente progettata. Inoltre, questa è direttamente ed assialmente collegata al generatore che ruotando produce elettricità, utilizzabile sia per l'autoconsumo che per l'immissione in rete (14) grazie ad un sistema a cascata composto da raddrizzatore, ed inverter grid connected.

All'uscita della turbina il fluido di lavoro che è in fase gassosa ad una temperatura di circa 95°C, passa all'interno di un rigeneratore (6) dove cede parte del suo calore residuo per effettuare il pre-riscaldamento del fluido freddo.

Terminata questa fase il gas viene riconvertito in liquido da un condensatore (7-8) ed infine viene raccolto in un apposito serbatoio (9) per essere nuovamente pompato all'interno del circuito .

Il calore recuperato nello stadio di condensazione può essere utilizzato per soddisfare ulteriori necessità dell'impianto, ad esempio per il preriscaldamento della biomassa così da ridurre l'umidità in eccesso ed aumentare il potere calorifico del combustibile stesso. In aggiunta, qualora vi siano necessità di condizionamento ambientale oppure di freddo insieme o in alternativa al calore, l'energia termica del condensatore può anche essere immessa in uno stadio opzionale di assorbimento a ciclo Einstein, in grado di convertire le calorie in frigorifiche. In quest'ultimo caso l'impianto standard di cogenerazione diventa di trigenerazione.

## L' INNOVATIVA TECNOLOGIA DELLE TURBINE ORC-LT ZUCCATO ENERGIA

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

- Bassa temperatura operativa che consente di sfruttare anche sorgenti termiche "povere";
- Alta temperatura di condensazione (~40°C) che permette l'utilizzo anche di economici condensatori ad aria;
- Grazie al fluido di lavoro completamente asciutto non c'è alcuna erosione delle pale della turbina e quindi il sistema ha un'alta affidabilità, contenuti costi di manutenzione e necessita di pochi controlli;
- Basse pressioni operative (massimo 20 bar), ovvero maggior sicurezza, minori problemi normativi e minori costi impiantistici;
- Nessuno scarico in atmosfera (lavora in ciclo chiuso);

Inoltre, dal punto di vista ecologico risultano rilevanti le caratteristiche del fluido utilizzato che è "ozone-friendly", organico, atossico e completamente biodegradabile.

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

- Accoppiamento diretto della turbina all'alternatore, che elimina gli attriti di eventuali riduttori di velocità;
- Utilizzo di cuscinetti ceramici che prolungano la vita operativa e consentono il funzionamento ad elevati regimi di rotazione;
- Impiego di inverter progettati e dimensionati appositamente per ogni taglia di turbina (lo scopo è quello di immettere in rete l'energia elettrica ottenendo un rendimento ottimale).

## DATI DI PROCESSO

Di seguito i dati di processo di un impianto tipico:

PREHEATER +EVAPORATORE	VALORE	U.M.
Potenza termica tot in ingresso alla turbina	1100	[kW <sub>th</sub> ]
Temperatura acqua surriscaldata ingresso	= > 160	[°C]
Temperatura acqua surriscaldata ritorno	140	[°C]
Portata massima acqua surriscaldata mandata	13,14	[kg/s]
Potenza elettrica erogata dalla turbina	150	[kW <sub>e</sub> ]

*NB: I valori di portata possono variare a seconda delle esigenze del cliente.*

CONDENSATORE	VALORE	U.M.
Potenza termica da dissipare	940	[kW <sub>th</sub> ]
Temperatura acqua uscita condensatore	36	[°C]
Temperatura acqua ingresso condensatore	26	[°C]
Portata acqua circuito condensazione	22,46	[Kg/s]

## DATI SPECIFICI TURBINA ORC-LT ZUCCATO ENERGIA

Di seguito le specifiche tecniche dei turbogeneratori ZE150.

<b>Generatore</b>	generatore sincrono a magneti permanenti con raddrizzatore e sincronizzatore di rete,raffreddamento con camera ad acqua.
Potenza	160 kW
Velocità	17.000 Rpm
Tensione	650- 850 VDC
Raffreddamento ad acqua richiesto	15 kW <sub>th</sub>
Fluido refrigerante	Acqua /glicole
Temperatura di ingresso acqua	< 40°C
Portata volumetrica di acqua	30 l/min
Refrigerante aggiuntivo	Iniezione opzionale di fluido di processo
Tenuta generatore	2,5 bar (tenuta gas)

<b>Inverter</b>	IGBT- sincronizzato alla rete incluso chopper di frenatura, raffreddato ad aria
Potenza	150 kW
Tensione	400 V + 5% Tol.
Frequenza	50 Hz +0,5% Tol.
Temperatura ambiente	40°C
Chopper di frenatura	200 kJ

<b>Turbina</b>	Turbina radiale con ugelli fissi, direttamente accoppiata all'albero del generatore
Temperatura in ingresso	145°C
Temperatura in uscita	ca. 100°C
Pressione di stadio	PS 16 (test di pressione a 24 bar)
Corpo turbina	Acciaio saldato
Girante	Lega di alluminio
Controllo di velocità	Anello di retroazione sulla corrente in uscita dal generatore
Tenuta	Labirinto sigillato sul retro della girante opzionale: labirinto assiale sigillato all'interfaccia con il generatore. Verso l'esterno: statiche, O-rings

## FLUIDO DI PROCESSO

Il fluido di processo è la parte caratteristica che ha permesso di realizzare questa tipologia di impianti a recupero di calore Zuccato Energia. Infatti è grazie alla sua esistenza che è stato possibile studiare e realizzare le soluzioni ad alta tecnologia che questa azienda è in grado di proporre. Il fluido di lavoro Zuccato Energia possiede le seguenti ottime caratteristiche:

- **Range di lavoro 60-165°C che consente di sfruttare fonti prima ritenute inutilizzabili;**
- Alta temperatura di condensazione (~40°C) che permette l'utilizzo di economici condensatori ad aria;
- Nessuna erosione delle pale della turbina, perché il fluido di lavoro è completamente asciutto;
- Basse pressioni operative (massimo 20 bar), ovvero maggior sicurezza, minori problemi normativi e minori costi;
- E' completamente "ozone-friendly", organico, atossico e completamente biodegradabile. Rispetta quindi completamente e totalmente la natura ed eventuali accidentali perdite non sono considerabili dannose o pericolose;
- Deve essere raramente integrato perché lavora in un circuito chiuso;
- In più grazie al fluido non c'è consumo d'acqua o vapore e l'impianto risulta economico nella gestione oltre che molto semplice e compatto.

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

Dati di processo	
Fluido vettore del ciclo ORC	n.d.
Temperatura in ingresso	145 °C
Pressione in ingresso	16,08 bar
Potenza termica richiesta	1100 kW <sub>th</sub> (145°C/40°C) con rigeneratore
Temperatura di condensazione	40°C
Pressione in uscita dal condensatore	1,17 bar
Portata massica di vapore stimata	5,26 kg/s (145°C/40°C)

## MACCHINARI COSTITUENTI IL CIRCUITO ORC

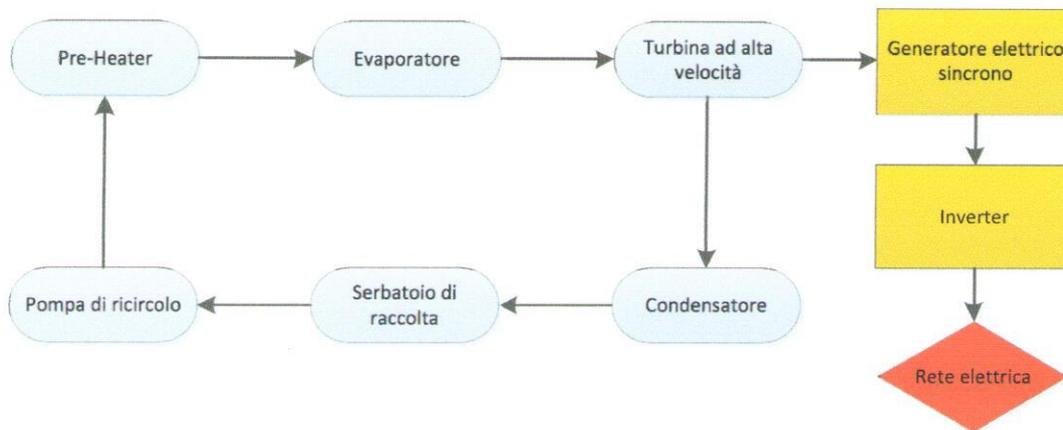


Figura 3: schema a blocchi del sistema di generazione elettrica.

Sistema di generazione elettrica basato su Ciclo Rankine organico a bassa temperatura (Figura 3), costituito da:

- **Pre-Heater**, effettua un pre-riscaldamento del fluido di lavoro utilizzando l'acqua calda del circuito diatermico in alimentazione al sistema ORC;
- **Evaporatore**, utilizza il calore dell'acqua calda del circuito diatermico in alimentazione al sistema ORC per effettuare la vaporizzazione del fluido di lavoro (cambiamento di fase con innalzamento della pressione);
- **Turbina ad alta velocità** con girante ultraleggera azionata dall'espansione del fluido di lavoro;
- **Condensatore** per consentire al gas costituente il fluido di lavoro di tornare alla forma liquida;
- **Serbatoio di raccolta** per il fluido di lavoro in forma liquida;
- **Pompa di ricircolo** per il rilancio del fluido di lavoro;
- **Fluido di lavoro** necessario per riempire il circuito;
- **Generatore elettrico sincrono** in connessione diretta con la turbina;
- **Inverter** per l'interfacciamento dell'alternatore alla rete elettrica nazionale, comprensivo di circuiteria di adattamento di frequenza, rifasamento e sincronizzazione.

## DESCRIZIONE E SPECIFICHE TECNICHE COMPONENTI MODULO ORC

Di seguito vengono riportati gli ingombri dei principali componenti impiegati nella realizzazione dello skid del modulo ORC ZE150-LT. Ci teniamo inoltre a precisare che ogni skid necessita di un'area pari a 5,5x3x2,5m ( $l \times w \times h$ ) più un metro per lato per permettere il passaggio. La torre evaporativa invece presenta i seguenti ingombri 3,6x2,4x3,6m ( $l \times w \times h$ ) ed anche in questo caso è necessario un ulteriore metro per lato per permettere il ricircolo dell'aria (2m tra questa ed altre già presenti).

### SCAMBIATORI

Gli scambiatori di calore utilizzati nel modulo ORC ZE150-LT sono a piastre saldo brasati. Rappresentano la più compatta ed economica soluzione per molte applicazioni. La tecnologia costruttiva si basa sull'accoppiamento di più piastre di acciaio di qualità generalmente corrugate a spina di pesce che vengono assemblate a verso invertito di 180° rispetto all'adiacente. Tenendo conto che le sezioni di passaggio dei fluidi sono molto contenute, i volumi d'ingombro di questi scambiatori sono minimi in relazione alla loro capacità di scambio termico. Tra le specifiche tecniche di questa tipologia di scambiatori si ricordano le più importanti:

- **Resistenza alla pressione ed alla temperatura:** gli scambiatori sono idonei ad una pressione di lavoro di 30 Bar con collaudo a 39 bar per le esecuzioni standard e ad una pressione di lavoro di 45 bar con collaudo a 55 bar per le esecuzioni "alta pressione". La pressione di scoppio può arrivare fino a 225 bar. La composizione dei materiali è di natura esclusivamente metallica: acciaio AISI 316, rame puro al 99,9% o nickel, che consentono di raggiungere temperature di lavoro sino a 195°C con brasatura in rame e sino ai 300°C con brasatura in nickel;
- **Perdite di carico:** i valori di perdita di carico sono in diretta relazione con il grado di efficienza desiderato. I valori stimati per una buona efficienza vanno da un minimo di 1 m.c.a ad un massimo di 5 m.c.a;
- **Sporcamento e corrosione:** la peculiarità degli scambiatori a piastre saldobrasati è quella di avere sempre un'alta turbolenza ed uno sfruttamento totale della superficie. Questo si riflette in una drastica riduzione dei depositi dovuti al materiale contenuto nei liquidi, inoltre sono perfettamente pulibili con dei normali fluidi detergenti. I problemi di corrosione risultano limitati data la specifica resistenza dei materiali utilizzati per la costruzione.

### VANTAGGI RISPETTO AI TRADIZIONALI SCAMBIATORI DI CALORE

- **Ridotte dimensioni :** gli scambiatori arrivano ad occupare fino ad 1/10 dello spazio occupato da altri tipi di scambiatori. Questa caratteristica agevola il trasporto e permette di ridurre le dimensioni dell'impianto.
- **Bassi approcci di temperature:** è possibile lavorare con una minima differenza tra, ad esempio la temperatura dell'acqua di raffreddamento ed il prodotto da raffreddare, così da migliorare l'efficienza del sistema;
- **Peso contenuto:** l'esecuzione compatta ed il ridotto volume interno, fanno sì che il peso corrisponda soltanto ad una minima parte di quello degli scambiatori tradizionali;
- **Basse perdite di carico:** nella maggior parte dei casi la perdita di carico nello scambiatore saldobrasato è minore di quella degli scambiatori coassiali.

---

## SERBATOIO DI RACCOLTA CONDENSE

Si tratta di una vasca per la raccolta del fluido vettore liquido. Viene eseguita in PED ad alta tenuta della pressione con raccordi PN25. La capacità del serbatoio di accumulo è di 200 litri garantendo all'impianto un adeguato polmone, inoltre i livelli interni di fluido vengono costantemente monitorati da degli appositi sensori.

---

## POMPA FLUIDO VETTORE

Si tratta di una pompa centrifuga verticale multistadio, non autoadescante, accoppiata con motore standard normalizzato. La parte idraulica viene mantenuta in posizione tra il coperchio superiore e il corpo pompa mediante tiranti.

---

## SPECIFICHE DEL MOTORE

- Motore a gabbia in cortocircuito del tipo chiuso a ventilazione esterna;
- Valore di rendimento che cade all'interno della fascia indicata come efficienza 1;
- Grado di protezione IP55 che garantisce protezione dai depositi di polvere e dai getti d'acqua;
- Isolamento classe F che permette di avere una temperatura massima di funzionamento pari a 155°C;
- Certificazione EN 60034-1;

---

## QUADRO DI CONTROLLO

Nel quadro di controlli risiede tutta la parte di elettronica, supervisione, automazione e controllo del nostro impianto. Al suo interno sono presenti quindi:

- Gestione di processo;
- Controllo della temperatura;
- Controllo della pressione;
- Gestione degli allarmi;
- Controllo del collegamento alla rete;
- Inverter per rifasamento energia prodotta;
- Quadro di parallelo rete con protezioni BT.

## TORRE EVAPORATIVA (OPZIONALE)

Per la condensazione del fluido di lavoro abbiamo scelto una speciale tipologia di torre evaporativa per le sue caratteristiche costruttive superiori e la possibilità di assicurare una temperatura di condensazione costante per tutto l'anno (fondamentale per una resa di ciclo ottimale e continuativa).

La torre di evaporazione è costituita di un'unità a singola o doppia cella con ventilatori assiali. Il corpo è realizzato con pannelli sandwich modulari in vetroresina collegati tra loro per mezzo di una struttura in acciaio zincato a caldo. La bulloneria utilizzata è anch'essa in acciaio AISI 304 mentre la vasca di raccolta acqua è in resina poliestere rinforzata con fibra di vetro. Batteria di scambio termico in acciaio zincato a caldo studiata per permettere un'elevata superficie di scambio termico e facilitare la manutenzione/pulizia. Il sistema di distribuzione dell'acqua PN10 e gli ugelli sono entrambi completamente in PVC e presentano una geometria studiata appositamente per non essere otturabili. Le alette paraspruzzi sono ottenute per estrusione di resina poliestere rinforzata con fibra di vetro.

L'utilizzo di materie plastiche e fibra di vetro rende il prodotto leggero e ne consente l'installazione praticamente ovunque.