

## Recupero energetico e riduzione delle emissioni

### Casi di studio Saipem in contesto industriale

L'obiettivo di sostenibilità in termini di funzionamento e la mitigazione dell'impatto ambientale attraverso la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> rappresentano aspetti di grande rilevanza nell'ottica di ottimizzazione delle risorse energetiche in campo industriale.

In tale prospettiva Saipem ha acquisito una solida esperienza nella filiera della CO<sub>2</sub> - dalla cattura al trasporto fino allo stoccaggio - fornendo servizi di ingegneria per diverse compagnie del settore Oil&Gas. Inoltre, ha sviluppato progetti e casi di studio per applicazioni Acid Gas Injection (AGI), Enhanced Oil Recovery (EOR) e di Efficienza Energetica, al fine di gestire la CO<sub>2</sub> nel rispetto dei processi, con particolare attenzione alla riduzione delle emissioni nocive in atmosfera.

Alcune soluzioni rivolte alla riduzione del fabbisogno di energia elettrica in impianti industriali sono presentate nel seguito. Lo scopo è rendere i processi più sostenibili in termini di salvaguardia dell'ambiente at-

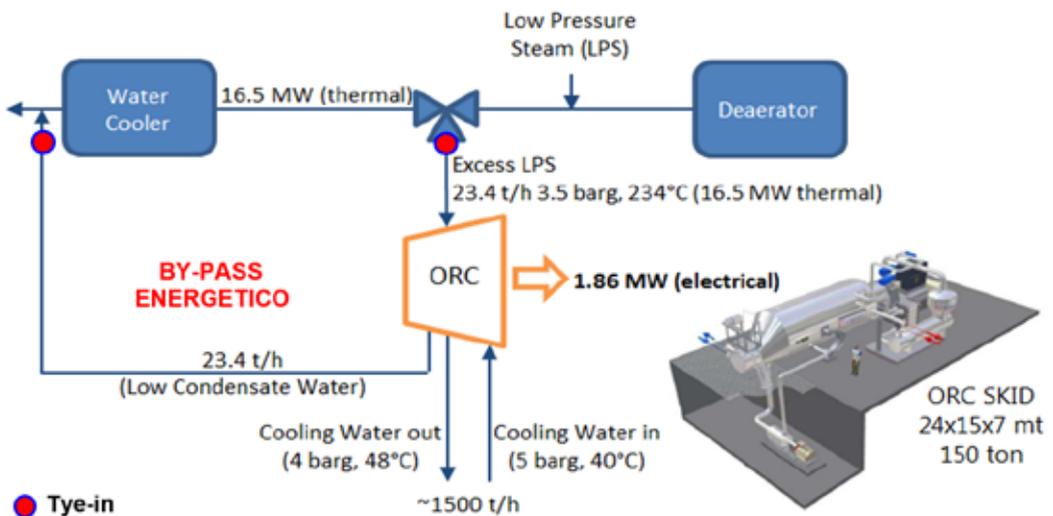
traverso l'applicazione di tecnologie innovative come l'Organic Rankine Cycle (ORC) ed il Mini-Hydro. Le soluzioni di efficientamento energetico sono inserite con la configurazione di "By-pass energetico" che non modificano il funzionamento del processo industriale.

#### TECNOLOGIE ORC

I turbogeneratori ORC possono generare energia elettrica dal recupero di calore residuo come ad esempio, dal vapore in eccesso a bassa pressione in un impianto Ammoniacca-Urea (1), dalla compressione inter-refrigerata di un impianto a Gas Naturale Liquefatto (NGL) (2) e dai prodotti di una Raffineria (3).

(1) Negli impianti Ammoniacca Urea, il vapore di bassa pressione viene iniettato negli ultimi stadi di una turbina a vapore per estrarre potenza meccanica. In alcuni casi, per avere una maggiore affidabilità di

**FIGURA 1 - ORC con vapore di bassa pressione in un impianto Ammoniacca-Urea (By-pass energetico)**



Pressione $P_v$ [barg]	Temperatura $T_{CW}$ [°C]	Potenza Elettrica Netta [MWe]	Produzione Elettrica Annuale [GWhe/anno]	Riduzione Emissioni CO2 [ton/anno]
3.5	40	1.86	15.41	<b>6100</b>
5.0	25	2.38	19.74	<b>7800</b>

**TABELLA 1 - Prestazioni ORC alimentato da vapore in bassa pressione in un impianto Ammoniaca Urea**

impianto, il vapore di bassa pressione è prodotto in eccesso; pertanto si garantisce il controllo dei trasistori termici nei casi di emergenza, ottenendo delle rampe di raffreddamento con gradienti regolati e una corretta operatività dell'impianto.

In Figura 1 è rappresentato un sistema con tecnologia ORC inserita come By-pass Energetico sulla linea del vapore di bassa pressione. Il Turbogeneratore è in grado di produrre ~2 MWe recuperando il calore di condensazione del vapore (~24 t/h @ 3.5 barg, 235 °C). La tipologia ORC selezionata è costituita da una turbina assiale adatta per temperature 150÷350 °C e potenze 0,6÷10 MWe.

Le prestazioni aumentano con la pressione ( $p_v$ ) del vapore e con la diminuzione della temperatura ( $T_{CW}$ )

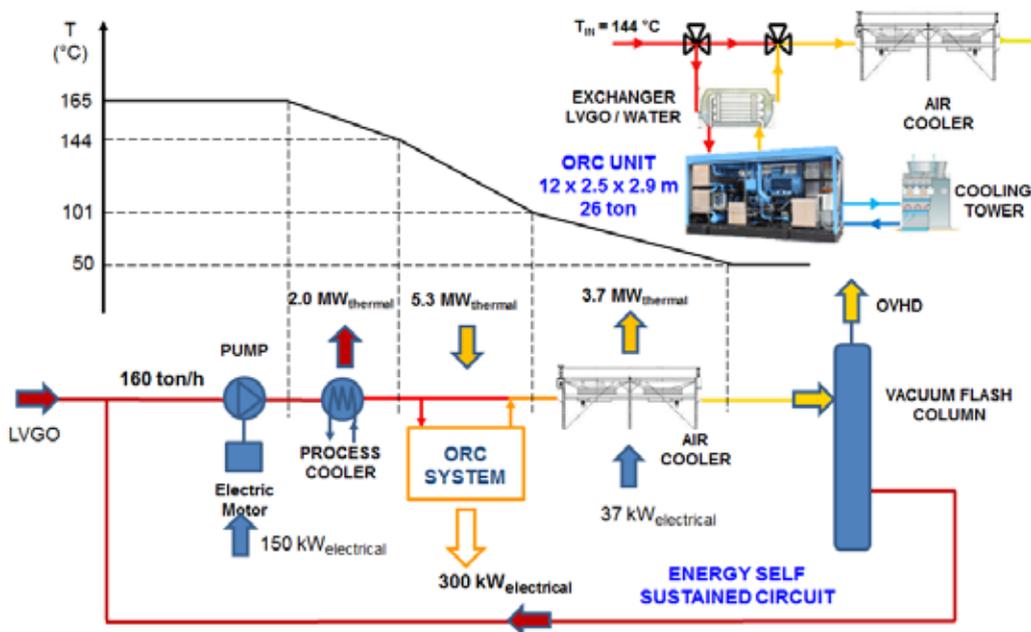
dell'acqua di raffreddamento (Tabella 1).

Inoltre, il By-pass energetico è in grado di sostituire interamente il lavoro del water cooler.

I risultati dell'analisi economica variano con la zona geografica; ad esempio, in riferimento all'India, il ritorno del capitale è di 4-5 anni assumendo un costo per l'intero impianto di ca. 2250 €/kW e importi di conduzione e manutenzione annui pari a 3% dell'investimento iniziale.

(2) La seconda applicazione affianca gli ORC alle linee dei prodotti di raffineria soggetti a raffreddamento prima dello stoccaggio. Si riportano in Tabella 2 le potenze termiche dissipate sugli air coolers e le potenze elettriche massime ottenibili. La temperatura è stata ottimizzata in ingresso per massimizzare la

**FIGURA 2 - ORC applicato alla linea LVGO di una Raffineria (By-pass energetico)**



Linea	Potenza Termica Disponibile [MW <sub>t</sub> ]	Potenza Termica Utilizzata [MW <sub>t</sub> ]	Potenza Elettrica Netta [kW <sub>e</sub> ]	Produzione Elettrica Annuale [MWhe/anno]	Riduzione Emissioni CO <sub>2</sub> [ton/anno]
KERO	1.2	0.7	50	415	<b>180</b>
NAPHTA	1.0	0.6	40	330	<b>140</b>
VGO	4.2	2.5	230	1900	<b>830</b>
AGO	2.4	1.4	70	580	<b>250</b>
LVGO	9.0	5.3	300	2500	<b>1070</b>

**TABELLA 2 - Prestazioni ORC per prodotti di Raffineria**

(VGO: Vacuum Gas Oil, AGO: Atmospheric Gas Oil, LVGO: Low Vacuum Gas Oil)

potenza elettrica.

In Figura 2 si riporta uno schema della linea LVGO con il sistema ORC. La tecnologia ORC analizzata prevede un doppio espansore a vite che opera in un intervallo di temperature  $90\pm 300$  °C e potenze  $70\div 600$  kW<sub>e</sub>.

L'implementazione rende la linea energeticamente indipendente, in quanto l'energia elettrica prodotta dall'ORC soddisfa la domanda di potenza elettrica sia della pompa di movimentazione LVGO che dell'air cooler predisposto al raffreddamento del fluido di processo.

L'intervento ha un costo stimato pari a ca. 1200 k€ e un ritorno d'investimento di 8 anni, che sono ridotti a 4 anni utilizzando i titoli di efficienza energetica.

(3) Un terzo caso è il raffreddamento interfase tra gli stadi di compressione in un impianto Natural gas

Liquidified. L'unità ORC è inserita nella sezione con le maggiori temperature. Il calore rimanente è dissipato da un air cooler. Lo schema di recupero energetico (Figura 3) ha la stessa tipologia di macchina del caso precedente, con una potenza di 320 kW<sub>e</sub>.

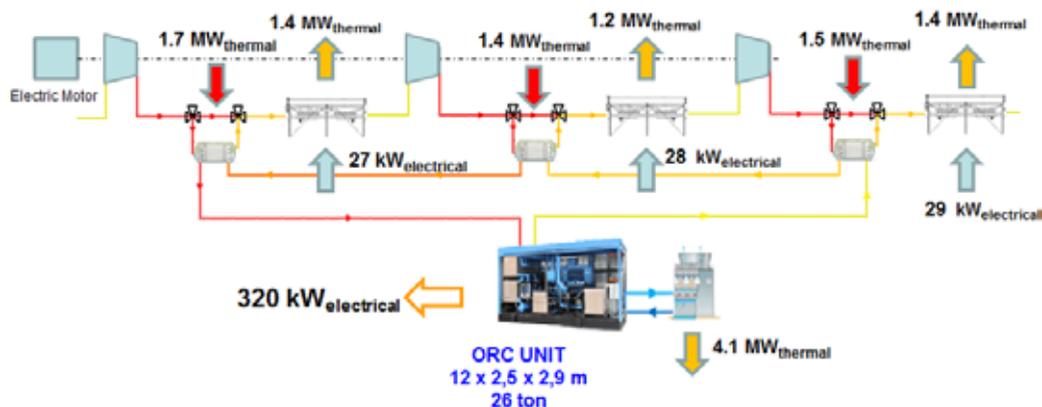
#### TECNOLOGIE MINI-HYDRO

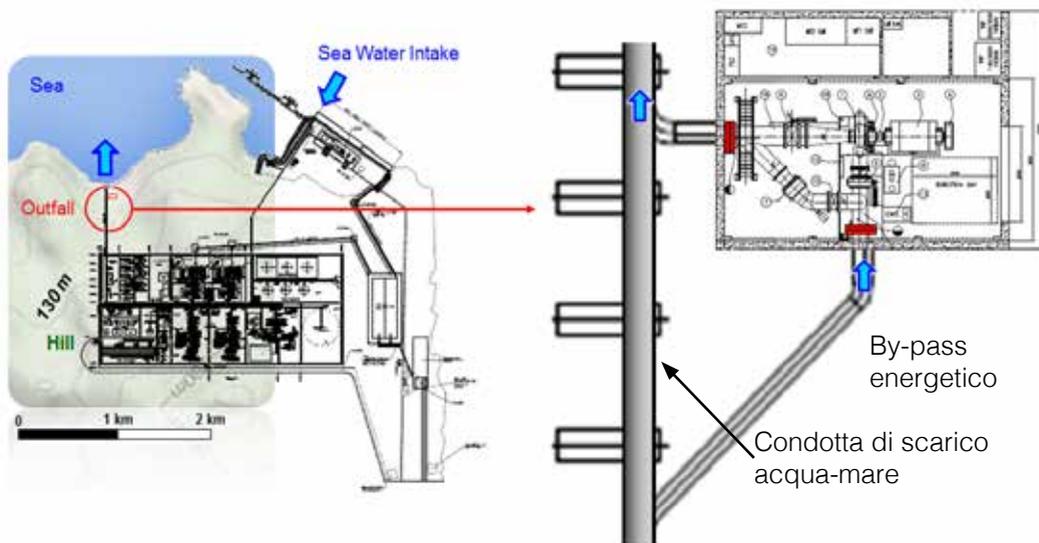
Le turbine idrauliche possono sfruttare l'energia gravitazionale disponibile nei circuiti impiantistici; si riportano due casi analizzati rispettivamente per un impianto Ammoniac-Urea (4) e un impianto di Gas Naturale Liquefatto (NGL) (5).

(4) L'impianto Ammoniac-Urea è situato in zona collinare; la condotta di scarico dei circuiti di raffreddamento acqua mare presenta un salto geodetico di 130 mt con una portata di 1.65 m<sup>3</sup>/s.

Nel tratto finale una valvola laminatrice dissipa il

**FIGURA 3 - ORC applicato agli stadi di compressione di un Impianto NGL (By-pass Energetico)**





**FIGURA 4 - Recupero energetico con tecnologia idroelettrica per impianto Ammoniaca-Urea (By-pass energetico)**

salto di pressione. In parallelo è stata inserita una turbina idraulica di tipo Francis (1000 giri/min) con la funzione di By-pass Energetico (Figura 4). In caso di disservizio della turbina o attività manutentiva sarà attivata la valvola laminatrice, senza interrompere la funzionalità d'impianto.

La potenza elettrica netta recuperata è pari a 1.70 MWe con una produzione annuale di 14.5 GWe. La corrispondente riduzione di emissioni di CO<sub>2</sub> è di 5800 t/anno. La stima preliminare d'investimento è di 3.4 M€ con un PBT quantificato in 3 anni per l'area geografica in cui è localizzato l'impianto.

(5) Un'applicazione analoga è stata analizzata per un impianto di liquefazione NGL negli Emirati Arabi Uniti (EAU).

Il torrino piezometrico, installato nei circuiti di raffreddamento acqua mare, mantiene annegati i condensatori in ogni condizione di funzionamento; è previsto un battente di 16 mt e una portata di 8.7 m<sup>3</sup>/s. La turbina idraulica selezionata per il circuito è di tipo Kaplan (330 giri/min) accoppiata a un generatore (1520 giri/min) con interposto un moltiplicatore.

Sono state individuate tre configurazioni impianti-

stiche (Figura 5). La soluzione con turbina integrata nel torrino ha un impatto sulle opere civili e criticità idrauliche sulla condotta di alimentazione.

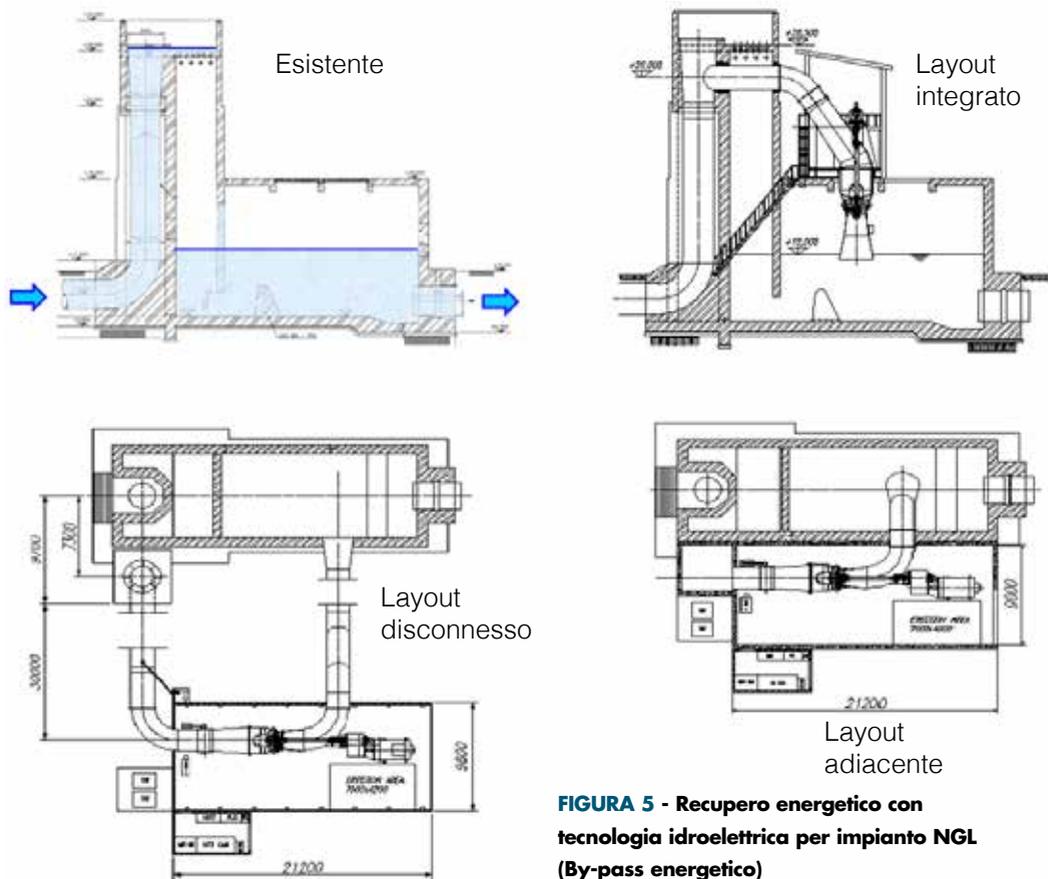
Le configurazioni esterne al torrino deviano la portata in un serbatoio di alimentazione; il by-pass energetico lavorando in parallelo, in caso di disservizio o attività manutentiva, esclude la turbina.

La potenza elettrica recuperata è di 1.2 MWe con una produzione annua di 10 GWe e una riduzione di emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente pari a 4000 ton/anno. Si stima un costo di investimento pari a ca. 5.0 M€.

Il mercato attuale ha un ritorno di investimento elevato nell'area geografica degli EAU. In altri contesti, come ad esempio l'Italia, si rilevano valori più competitivi stimabili in 6 anni.

Si prevedono alcune raccomandazioni per la successiva fase esecutiva della tecnologia Mini-Hydro:

- Idraulica: il corretto funzionamento della turbina dovrà essere garantito in ogni scenario operativo. Sarà necessaria una simulazione fluidodinamica della condotta di alimentazione, considerando la curva di perdita di carico al variare della portata di scarico.



**FIGURA 5 - Recupero energetico con tecnologia idroelettrica per impianto NGL (By-pass energetico)**

- Materiali: nel caso di acqua mare con percentuali di cloro libero (>0.1 ppm) e temperature fino a 48 °C, i materiali dovranno essere referenziati per applicazioni analoghe. I materiali di riferimento possono essere i seguenti: AISI 316 L, Super austenitici 6Mo, Duplex, Superduplex. Dovrà inoltre essere previsto un piano di manutenzione e sostituzione dei componenti più sensibili ad un decadimento delle prestazioni e della resistenza meccanica.
- Conduzione: gli scenari di carico transitorio dovranno essere valutati nel dettaglio considerando le leggi di apertura e chiusura dei dispositivi, come la valvola di guardia e il distributore. Si dovranno prevedere idonee disgiunzioni idrauliche tra i dispositivi a monte e a valle del by-pass come le casse d'aria, valutando le leggi di velocità e le mas-

se in gioco. Lo scopo è minimizzare i disturbi sulla condotta di scarico per salvaguardare la macchina.

#### CONCLUSIONI

Saipem, attraverso un approccio di miglioramento continuo, sviluppa soluzioni innovative applicate direttamente ai processi che riducono in quantità consistenti le emissioni di CO<sub>2</sub>; la metodologia comprende le analisi di efficienza energetica e la CO<sub>2</sub> management. Le tecnologie ORC e Mini-Hydro possono essere replicate in diversi contesti industriali senza modificarne sia i processi di produzione che l'affidabilità di conduzione impianto. I risultati delle applicazioni descritte aprono nuove prospettive nel campo dell'efficientamento energetico, degli impianti industriali di grossa taglia.