

iMPIANTISTICA

italiana

Organo ufficiale dell'Associazione Nazionale di Impiantistica Industriale ANIMP



CENTRALI ELETTRICHE

Turbina a gas "AE94.3A e HVO:
verso una generazione
di energia a basse emissioni

INFRASTRUTTURE

Innovazione e flessibilità
nella realizzazione del terminale
FSRU di Ravenna

SOSTENIBILITÀ

Proposta di una metodologia
basata sul rischio di misurare
la CO₂ a ciclo di vita



***i* Focus**

Energia e Oil&Gas



Riutilizzo del calore di scarto con la tecnologia ORC per migliorare efficienza e sostenibilità



Il ciclo “Rankine” ORC a fluido organico è una delle tecnologie più efficienti ed economicamente vantaggiose per il recupero del calore di scarto nell’industria grazie ai significativi vantaggi rispetto al tradizionale ciclo “Rankine” a vapore

Sara Milanesi, responsabile delle attività di comunicazione e marketing Exergy

I settore industriale è responsabile di circa il 75% dei consumi energetici globali e genera circa 9.0 Gt di emissioni di CO₂ all’anno (dati IEA, 2022-2023). Questa incidenza è destinata a crescere trainata dalla crescita dell’economia globale, dall’industrializzazione dei Paesi emergenti e dall’aumento della popolazione, fattori che determinano un incremento della domanda di beni, materiali e di energia per produrli. Per questi motivi la transizione energetica nell’industria rappresenta una delle sfide più complesse. Tecnologie pulite e più efficienti per molti processi industriali non

Il settore industriale è tra i maggiori consumatori di energia e responsabile di grandi emissioni di CO₂. Questo rende l’efficienza energetica una priorità per l’industria

sono ancora disponibili, sono in fase di sviluppo o risultano ancora troppo costose. Nonostante modesti miglioramenti nei consumi energetici del settore, i progressi sono ancora troppo lenti e non in linea con gli scenari per raggiungere la neutralità carbonica al 2050.

country	cement	Container Glass	Flat Glass	Paper	Primary Steel	Chemical	Food & beverage	Refinery	Total
Belgium	33.4	0	12.1	8.1	14.9	391.2	130.5	11.2	602
Denmark	9.5	0	0	1.9	0	26.1	54.5	2.6	95
France	85.5	36.9	12.1	32.5	32	453	427.3	20	1100
Germany	164.2	47.3	19.2	89.4	89.8	1367	486.4	32.6	2298
Italy	98.6	41.3	12.1	34.3	19.7	357.4	266	23.3	855
Netherlands	13	0	0	11	20.6	666.8	193.5	19.8	925
UK	43.1	26.7	9.1	17.4	30.6	300.2	254.7	19.8	702
Total	447.3	152.2	64.6	194.6	207.6	3562	1813	129.3	6577

Fig. 1 – Potenziale stimato per l'installazione di impianti ORC in MWel per paese selezionato e per settore industriale. (fonte: KcORC)

Il recupero di calore di scarto: una soluzione matura e con enorme potenziale per l'efficientamento energetico dell'industria

Accanto alle tecnologie innovative in via di sviluppo per contribuire alla decarbonizzazione dell'industria, esistono tecnologie comprovate, efficaci e immediatamente implementabili per migliorare l'efficienza energetica, ridurre i consumi e le emissioni di CO₂. Tra queste i sistemi a ciclo "Rankine" a fluido organico (ORC) offrono una opportunità concreta per l'efficientamento energetico, recuperando il calore di scarto dei processi produttivi e trasformandolo in energia elettrica pulita.

Il ciclo 'Rankine' a fluido organico (ORC) è una valida soluzione che consente di convertire il calore da cascami termici in elettricità pulita, migliorando l'efficienza e riducendo l'impatto ambientale

Nei processi industriali, tra il 20% e il 50% dell'energia termica viene dispersa sotto forma di calore esausto che rimane inutilizzato e viene rilasciato in atmosfera. Il potenziale di recupero di questa energia è quindi enorme. Uno studio pubblicato nel 2022 dal *Knowledge Center on Organic Rankine Cycle Technology (KcORC)* riporta che nel 2015 l'energia termica (calore) dispersa in atmosfera dal settore industriale nei Paesi dell'UE28 è stata di circa 980 TWh/anno. Il KcORC calcola che, se opportunamente recuperata, parte di questa energia potrebbe generare almeno 150 TWhel/anno di elettricità a zero emissioni, pari al consumo annuo di oltre 20 milioni di abitazioni o al consumo combinato di elettricità di Danimarca e Paesi Bassi. Questo permetterebbe di evitare emissioni per 123 milioni di tonnellate di

CO₂ all'anno rispetto alla produzione elettrica da carbone e circa 75 milioni di tonnellate se l'energia fosse generata con gas naturale.

Sempre il KcORC stima che riutilizzando il calore esausto disponibile in circa 1.200 siti industriali in 7 Paesi Europei, circa 6.6 GW di capacità elettrica a zero emissioni potrebbe essere installata utilizzando la tecnologia ORC. (**Figura 1**).

In Italia, il potenziale stimato è di circa 850 MWe, di cui 357 MWe provenienti solo dall'industria chimica.

Il recupero del calore di scarto con la tecnologia ORC

Il ciclo "Rankine" a fluido organico (ORC) è una delle tecnologie più efficienti ed economicamente vantaggiose per il recupero del calore di scarto nell'industria grazie ai significativi vantaggi rispetto al tradizionale ciclo "Rankine" a vapore.

Un sistema ORC è un ciclo termodinamico chiuso che differisce dal ciclo "Rankine" tradizionale per l'utilizzo di un fluido organico (idrocarburi o refrigeranti) al posto dell'acqua come fluido di lavoro. Il fluido organico ha un punto di ebollizione più basso e, a pari temperatura, evapora a una pressione più alta rispetto all'acqua. Questa caratteristica lo rende ideale per produrre elettricità da fonti termiche a bassa e media temperatura, tra 90 e 400 °C e per qualsiasi applicazione di piccola e media taglia. I principali componenti di un ciclo ORC sono:

1. La turbina: è la componente chiave dell'impianto ORC, poiché determina le prestazioni di tutto il sistema. La turbina espande il fluido organico producendo energia meccanica poi convertita in energia elettrica dal generatore.
2. Gli scambiatori di calore: consentono di trasferire il calore dalla fonte primaria al fluido di lavoro. Gli scambiatori di calore a fascio tubiero sono la tipologia solitamente impiegata, ma possono variare in geometria e configurazione a seconda della fonte di calore e della potenza termica totale.
3. Il condensatore: nel condensatore il fluido organico viene raffreddato e portato allo stato liquido prima di entrare nella pompa. Il condensatore può essere ad aria, con il vantaggio

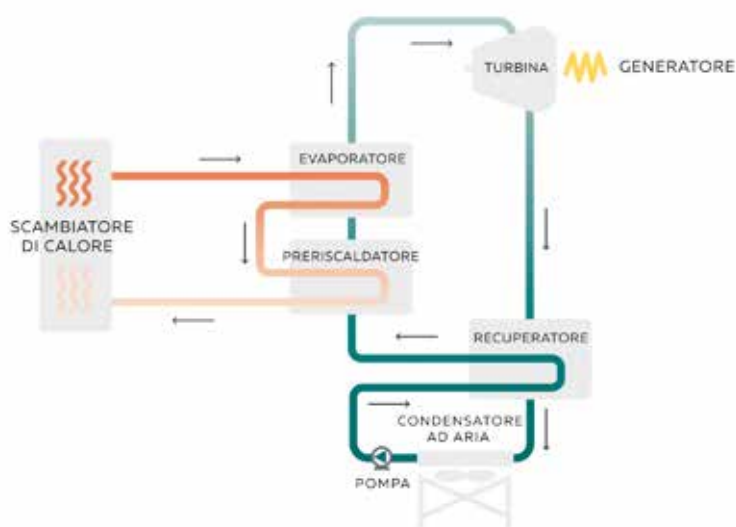


Fig. 2 – Schema di un ciclo ORC

di eliminare il consumo di acqua e la necessità del suo trattamento, oppure ad acqua in casi in cui sia preferibile o venga specificatamente richiesto.

4. La pompa di alimentazione: la pompa porta il fluido organico dalla pressione di condensazione alla pressione massima del ciclo ORC. La pompa è solitamente azionata da un motore elettrico a velocità di rotazione variabile.

I vantaggi di un ciclo ORC su un ciclo a vapore sono molteplici:

- possibilità di recuperare calore di scarto da risorse a temperature da basse a medio alte (tra 90 e 400 °C);
- maggiore efficienza e flessibilità di funzionamento anche a carico parziale;
- ridotte pressioni massime di esercizio;
- nessun consumo di acqua grazie all'impiego di un fluido organico nel ciclo e al possibile utilizzo di condensatori ad aria;
- impianto compatto e modulare, facilmente trasportabile e installabile;
- lungo ciclo di vita dell'impianto e minima manutenzione;
- espansione secca in turbina, senza rischio di erosione delle pale;
- sistema automatizzato che non richiede operatori dedicati.

Le innovazioni di Exergy nei sistemi ORC

Exergy International è un fornitore globale di soluzioni per la generazione di energia pulita, esperto nella progettazione e realizzazione di impianti a ciclo "Rankine" organico. L'azienda ha introdotto nel 2009 la "Turbina Radiale Outflow" (ROT) applicata ai cicli ORC e questa tecnologia è tuttora ancora unica e distintiva degli impianti di Exergy.

La diversa configurazione della ROT consente di convertire l'energia del fluido organico in potenza meccanica con un'elevata efficienza, in alcune condizioni di risorsa addirittura superiore a quelle della turbina assiale e radiale centripeta.

La turbina radiale *outflow* è ideale per l'espansione dei fluidi organici, poiché presenta una molteplicità di vantaggi:

- combinazione ottimale tra aumento della portata volumetrica durante l'espansione e sezione di passaggio del fluido;
- minori attriti del rotore grazie alle palette dritte e al design radiale;
- possibilità di immissioni multiple sullo stesso disco rotorico a diverse pressioni;
- fino a 9 stadi su singolo disco rotorico che consentono di raggiungere un'efficienza superiore;
- distribuzione del gradiente di pressione che consente al flusso di svilupparsi limitando la formazione di vortici, riducendo significativamente le perdite fluidodinamiche;
- possibilità di scegliere la pressione del ciclo con minori limitazioni tecnologiche;
- gruppo meccanico brevettato, facilmente estraibile per consentire una manutenzione rapida e semplice senza necessità di drenaggio del fluido di lavoro;
- ridotte velocità di rotazione, compatibili con l'accoppiamento diretto a un generatore.

Tutte queste caratteristiche rendono la turbina molto efficiente, poco rumorosa e con bassi livelli di vibrazioni.

In circa 15 anni di presenza nel mercato Exergy ha progettato svariati impianti ORC per il recupero di calore di scarto, e conta 11 impianti installati in vari processi industriali.

Tra questi, due casi di studio interessanti riguardano una applicazione nel settore chimico e una per una acciaieria.

Caso di studio 1: recupero di calore da un impianto chimico per Sanfame Group in Cina

Nel settore chimico il ciclo "Rankine" a fluido organico può essere impiegato per il recupero del calore di scarto dai processi di distillazione, sfruttando il calore disponibile dal vapore di processo di testa colonna e dal flusso di gas non condensabili (NCG) proveniente dalle colonne di stripping.

A Jiangyin, In Cina, Exergy ha installato un impianto che recupera il calore di scarto dalla produzione di polietilene tereftalato (PET) per il cliente Jiangyin Xingjia New Material Co., azienda del gruppo Sanfame operante nel settore chimico.

L'impianto è stato installato presso un nuovo stabilimento, con 2 linee di produzione della capacità di 750.000 tonnellate/anno per ciascuna linea, ed è costituito da 2 unità ORC da 2.9 MWe per una potenza totale installata di 5.8 MWe. L'ORC sfrutta il calore disponibile dal vapore di processo di testa

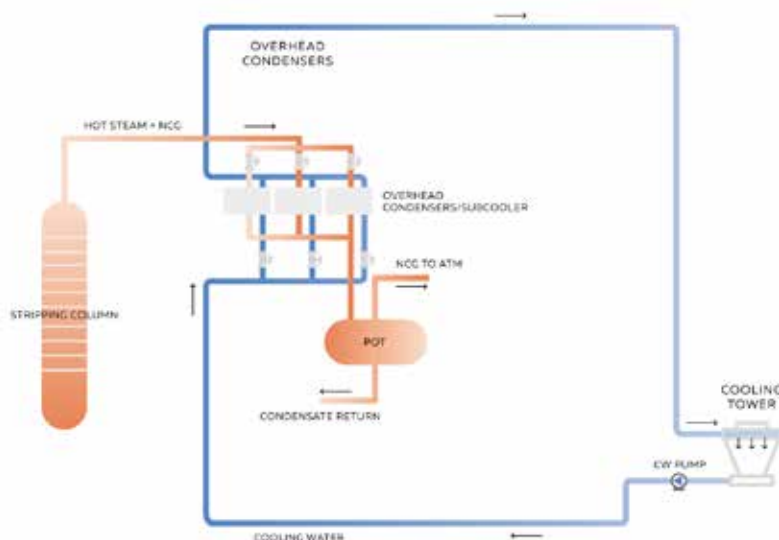


Fig. 3 Schema tradizionale con condensatori di testa colonna

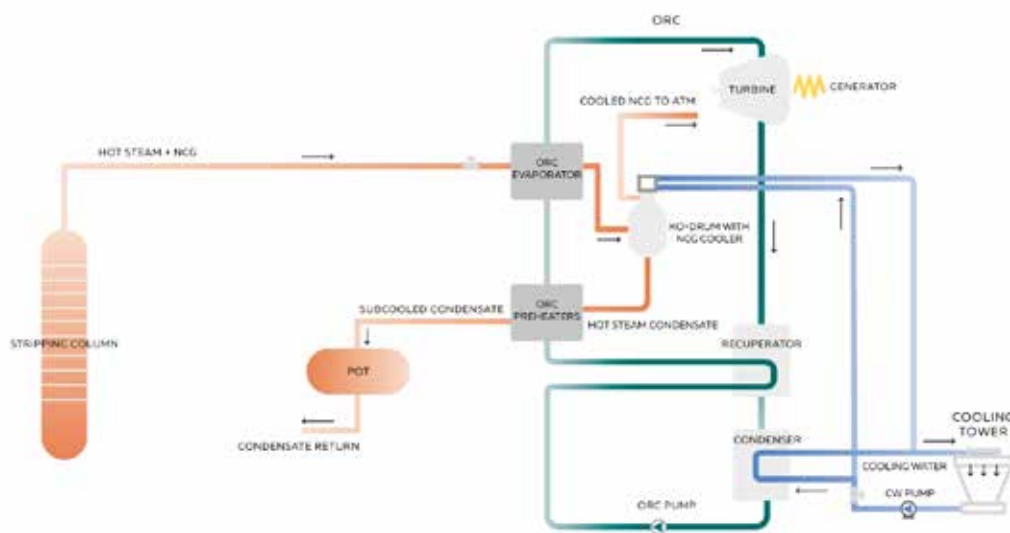


Fig.4 – Schema con ciclo ORC integrato

colonna e dal flusso di gas non condensabili (NCG) generati dal processo di produzione.

Nel design dell'impianto il sistema ORC assolve una doppia funzione apportando notevoli vantaggi: sostituisce da un lato la funzione dei condensatori convenzionali di testa colonna (**Figura 3**) e al contempo recupera calore di scarto con il vantaggio di generare energia elettrica pulita.

Il flusso di vapore di processo e i gas non condensabili (NCG) vengono indirizzati agli scambiatori di calore ORC (**Figura 4**) trasferendo il loro calore al fluido di lavoro organico del ciclo ORC. Il fluido organico si trasforma in vapore e viene quindi convogliato alla turbina per produrre elettricità. Il vapore di processo, il flusso degli NCG e il fluido di lavoro organico non vengono mai a contatto, evitando possibili contaminazioni del vapore di processo e del condensato del vapore.

L'impianto, in funzione da ottobre 2023, è completamente integrato con il processo del cliente senza interferire sulla capacità, e

sul tasso di produzione del PET anche durante le fasi di accensione e fermo impianto. Questo intervento di efficientamento energetico ha permesso di massimizzare l'efficienza del processo di produzione del PET, riducendo la domanda di energia da combustibili fossili. L'elettricità prodotta dalle unità ORC viene impiegata per alimentare i consumi interni dello stabilimento, soddisfacendo il 20% circa della domanda di energia. L'installazione contribuisce inoltre a risparmiare circa 20.000 tonnellate di emissioni di CO₂ e il consumo di 8.500 tonnellate equivalenti di petrolio all'anno. Grazie alla riduzione dei costi operativi l'impianto di Sanfame produrrà dei benefici a lungo termine, con un ritorno dell'investimento stimato in un tempo di circa 3 anni.

I casi studio di applicazione nell'industria chimica e siderurgica, evidenziano i benefici economici e ambientali del recupero energetico

Cliente finale	Jiangyin Xingjia New Material Co
Localizzazione geografica dell'impianto	Jiangyin
Anno di installazione	2023
Potenza elettrica lorda	2.9 MWe x 2 unità ORC
Applicazione	Recupero di calore da processo chimico
Flusso del vapore e gas non condensabili	10,4 kg/secondo per ciascun ORC
Temperatura del vapore e dei gas in ingresso all'ORC	250 t/ora
	102°C
Efficienza lorda	11,22%
Condensatore	Acqua da torri di raffreddamento
Installazione	Esterno
Condensatore	Acqua da torri di raffreddamento
Installazione	Esterno



Fig. 5 – Impianto ORC per il recupero di calore nello stabilimento di Sanfame



Fig. 6 – Impianto ORC per il recupero di calore nello stabilimento ABS Acciaierie, Udine, Italia

Caso di studio 2: recupero di calore in una acciaieria

Nel 2014 Exergy ha realizzato in collaborazione con Danieli Environment, un sistema di recupero del calore di scarto per ABS Acciaierie, presso il sito produttivo vicino a Udine, in Italia.

Con l'aumento dei costi dell'energia e della competizione internazionale, il cliente era infatti alla ricerca di soluzioni per migliorare l'efficienza energetica del suo processo produttivo e ridurre l'impatto ambientale degli impianti.

La soluzione fornita da Exergy è un sistema ORC che utilizza la turbina radiale *outflow* per il recupero del calore dai fumi emessi dal forno elettrico ad arco (EAF). Il calore dei fumi viene estratto mediante un circuito intermedio che utilizza acqua pressurizzata come fluido di lavoro. Questo cede a sua volta il calore al fluido organico del ciclo ORC per generare circa 1 MWe di energia elettrica. L'impianto è entrato in funzione nel settembre 2014, e ha utilizzato l'energia elettrica prodotta per autoconsumo interno, contribuendo a un risparmio di 4.692 tonnellate di CO₂ e 1.499 tonnellate equivalenti di petrolio all'anno.

Conclusioni

Il recupero di calore di scarto rappresenta un'opportunità significativa per migliorare l'efficienza energetica e ridurre l'impatto ambientale nell'industria energivora. L'utilizzo in particolare della tecnologia ORC si rivela flessibile ed economicamente competitivo per applicazioni con calori di scarto a basse e medie temperature nei processi industriali, adatto a installazioni greenfield o a integrazione di processo in siti esistenti, senza alcun impatto sui cicli produttivi.

Implementando questi sistemi le aziende possono:

- ridurre l'utilizzo di combustibili fossili efficientando il processo produttivo;
- ridurre i costi operativi;

Nome del cliente	Danieli Environment
Cliente finale	ABS Acciaierie
Localizzazione geografica dell'impianto	Pozzuolo del Friuli (UD)
Anno di installazione	2014
Dimensioni impianto	1 MWe
Applicazione	Recupero di calore da forno elettrico (EAF)
Flusso del fluido intermedio (acqua pressurizzata)	250 t/ora
Temperatura fluido intermedio in ingresso all'ORC	200°C
Temperatura del fluido intermedio in uscita dall'ORC	180°C
Potenza elettrica lorda	1 MWe
Efficienza lorda	15,8 %
Condensatore	Acqua da torri di raffreddamento
Installazione	Esterno

- ridurre l'esposizione alla volatilità dei prezzi dell'energia;
- aumentare la profittabilità del business;
- aumentare la sostenibilità del processo produttivo riducendo le emissioni di CO₂ associate alla domanda di energia elettrica;
- migliorare la competitività delle industrie sul mercato globale.

In sintesi, i sistemi ORC rappresentano una op-

portunità interessante per implementare da subito misure efficaci a mitigare l'impronta carbonica e supportare la transizione energetica dell'industria.

Referenze

The Knowledge Center on Organic Rankine Cycle technology (KCORC), Thermal Energy Harvesting. The Path to Tapping into a Large CO₂-free European Power Source, 2022



Sara Milanesi

Sara Milanesi è una professionista della comunicazione con oltre 20 anni di esperienza maturata in agenzie di PR e consulenza e in aziende del settore energetico. È specializzata in comunicazione corporate e strategie di marketing B2B a supporto della crescita commerciale. In Exergy dal 2015, è responsabile delle attività di comunicazione e marketing.

Repurposing Waste Heat with ORC Technology to improve energy efficiency and sustainability in energy-intensive industrial processes

Industries are one of the largest contributors to energy consumption and CO₂ emissions, making energy efficiency a priority for the sector. ORC technology, by converting exhaust heat into clean electricity is an ideal solution to improve efficiency and reduce environmental impact. This article examines the technology's operation, its advantages over traditional "Rankine" cycle, and presents case studies from the chemical and steel industries, highlighting the economic and environmental benefits of waste heat recovery.