

IL RECUPERO DELL'ENERGIA
 TERMICA A VALLE DEI PROCESSI
 DI COMBUSTIONE

Meglio sfruttare la miniera del calore

di Andrea Molocchi | responsabile Studi Amici della Terra

Lo spreco di grandi quantità di calore è una pratica irrazionale, generalizzata in tutto il mondo, di cui occorre divenire consapevoli. La maggior parte dei consumi di energia, siano essi consumi di trasformazione in energia elettrica o consumi energetici finali (nei processi industriali, nel trasporto, nel riscaldamento di abitazioni e uffici), è caratterizzata da una dissipazione notevole, in particolare di energia termica, in atmosfera o nelle acque ad esempio utilizzate per il raffreddamento di motori.

Mentre nei trasporti e nell'edilizia è di solito poco conveniente recuperare l'energia termica (data la natura molto diffusa o puntuale delle dispersioni di calore), nel settore energetico e nelle industrie di processo gli sprechi di energia termica sono già in parte contenuti, e potrebbero essere ulteriormente ridotti tramite l'applicazione di tecnologie per il riutilizzo del calore in molteplici e diverse applicazioni, che vanno dal teleriscaldamento di capannoni ed edifici alla desalinizzazione di acqua di mare, alla produzione di energia elettrica, alla fornitura di frigoriferi di processo o di aria condizionata per residenze. Inoltre, una parte degli stessi consumi finali di energia è dovuta alle tecnologie impiegate per la stessa dissipazione del calore (impianti di ventilazione, pompe di raffreddamento, eccetera) o per il trattamento ambientale dei gas di scarico: sistemi le cui taglie potrebbero essere ridimensionate (portando con sé riduzioni dei consumi energetici) se i fumi da trattare fossero ridotti mediante il loro preventivo recupero energetico.

Il tema del recupero dell'energia termica a valle dei processi di combustione, è venuto quest'anno alla ribalta a seguito della proposta di Direttiva sull'efficienza energetica, pubblicata dalla Commissione europea il 22 giugno 2011 con la finalità di dare attuazione all'obiettivo del 20 per cento di efficienza energetica previsto dalla strategia europea.

Fra le misure contenute nella bozza all'esame di Parlamento e Consiglio europeo ve ne sono di notevole rilevanza, fra le quali l'obbligo di cogenerazione per i nuovi impianti elettrici e un obbligo di recupero del calore residuo per i nuovi stabilimenti produttivi ad alto consumo di energia, inclusi gli ammodernamenti sostanziali. La Terza Conferenza Nazionale sull'efficienza energetica, orga-



nizzata dall'associazione *Amici della Terra*, che si è tenuta a Roma il 30 novembre e il 1 dicembre 2011, è stata l'occasione per presentare una vasta rassegna di tecnologie innovative e di buone pratiche riguardanti il recupero del calore nell'industria, la cogenerazione di elettricità e calore, gli impianti e i sistemi ad alta efficienza energetica nel residenziale e nell'industria, ivi inclusi i sistemi ibridi, che usano anche l'energia rinnovabile a bassa temperatura presente nei suoli, nell'aria e nelle acque, come le pompe di calore. Ed è stata anche l'occasione per dibattere la questione se i nuovi obblighi della Direttiva europea costituiscano gli ennesimi vincoli per le imprese o se non siano, piuttosto, opportunità di sviluppo e di competitività per la nostra industria. Quali i dati di partenza?

Se si guarda l'indicatore di rendimento medio delle centrali termoelettriche in un confronto internazionale, l'Italia si conferma ai primi posti al mondo (un posizionamento che, fra l'altro, attesta il dato più generale di ottimo posizionamento dell'Italia per intensità energetica primaria - consumi primari di energia dell'intera economia in rapporto al PIL). Il rendimento elettrico



medio delle centrali nazionali (45,9 per cento) sopravanza quello delle centrali giapponesi e britanniche; è di 9 punti percentuali superiore a quello degli Stati Uniti, di 11 punti superiore al dato tedesco, addirittura di 14 punti superiore rispetto a Cina, Polonia e Francia, di ben 20 punti superiore al rendimento delle centrali russe (quest'ultime consumano - a parità di elettricità prodotta - quasi il doppio dell'energia primaria delle nostre). Senza ombra di dubbio, per ragioni di scarsità e di maggiori costi dell'energia, negli ultimi trent'anni in Italia si è prima sviluppata e poi radicata una competenza tecnologica e imprenditoriale nell'efficienza delle centrali termoelettriche (ma non solo) che altri Stati ci invidiano.

Tuttavia, i dati sui rendimenti elettrici delle centrali aprono un quesito ulteriore sotto il profilo dell'efficienza: e il calore? Che fine fa la restante quota di energia, contenuta nel combustibile, che non viene trasformata in energia elettrica? È tutta persa o viene almeno in parte recuperata?

LO SPRECO TERMOELETTRICO

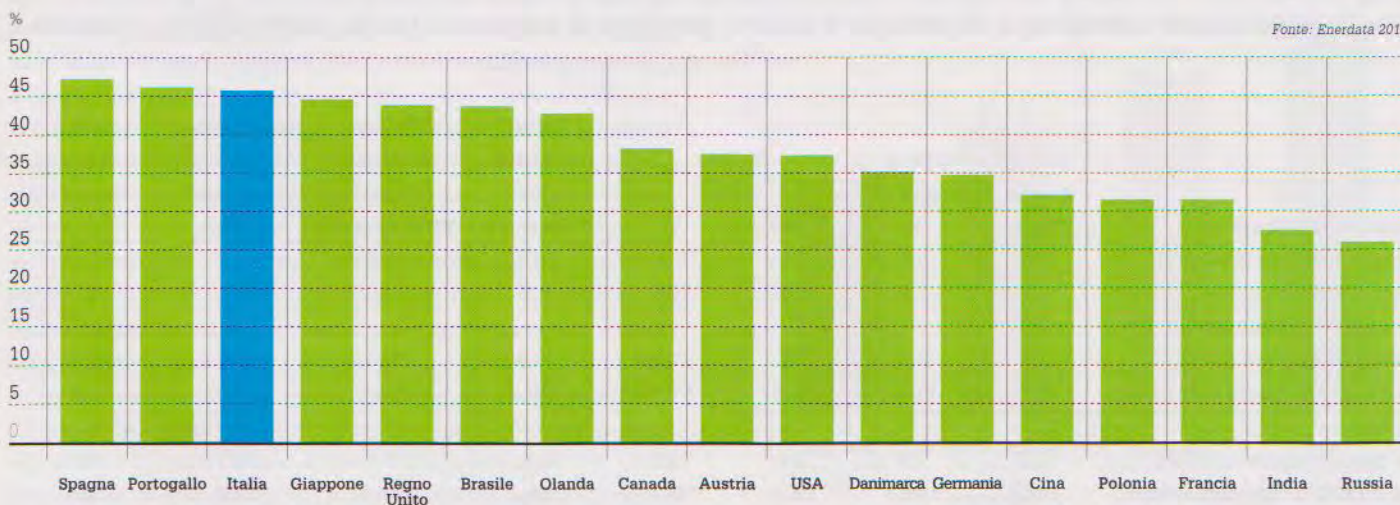
In Italia, poco più della metà della produzione di elettricità da impianti termoelettrici (112 TWh su un totale di 220 TWh) non si accompagna ad alcuna produzione di calore utile, con relativa dissipazione in ambiente esterno di ingenti quantitativi di calore residuo. Gli impianti privi di recupero del calore rappresentano una potenza installata complessiva di 54.000 MW (su un totale di 78.000 MW) ed hanno un rendimento energetico medio di appena il 40,6 per cento (con una forte variabilità a seconda delle tecnologie di generazione, per cui si va dal 32,5 degli impianti a vapore a condensazione al 51,3 per cento degli impianti a ciclo combinato senza recupero di calore). Questo significa che gli impianti nazionali che producono *esclusivamente* energia elettrica, rilasciando in atmosfera emissioni di CO₂, dissipano anche 164 TWh di energia termica (14,1 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio).

Considerando l'insieme di tutti gli impianti nazionali di cogenerazione (24.400 MW di potenza, con una produzione combinata di elettricità per 108 TWh e di calore utile per 56 TWh), il rendi-

Confronto fra i rendimenti elettrici medi delle centrali termoelettriche delle principali economie mondiali, anno 2008

Figura 1

Fonte: Enerdata 2011



Produzione netta di energia elettrica da impianti termoelettrici in Italia secondo tipo di impianto, anno 2010 (TWh di elettricità)

Tabella 1

Fonte: TERNA (2011), Dati statistici sull'energia elettrica in Italia, anno 2010, tab. 32

| A) Impianti con sola produzione di energia elettrica | TWh _e | % | Rendimento elettrico netto [%] |
|--|------------------|--------------|--------------------------------|
| a combustione interna (CI) | 2,9 | 2,6 | 35,9 |
| a turbine a gas (TG) | 0,3 | 0,3 | 25,1 |
| a vapore a condensazione (C) | 47,2 | 42,1 | 32,5 |
| a ciclo combinato (CC) | 60,8 | 54,3 | 51,3 |
| ripotenziato (RP) | 0,7 | 0,6 | 27,0 |
| Totale A | 112,0 | 100,0 | 40,6 |
| B) Impianti con produzione combinata | | | |
| a combustione interna (CIC) | 5,4 | 5,0 | 51,4 |
| a turbine a gas (TGC) | 3,8 | 3,5 | 57,2 |
| a vapore a condensazione con spillamento (CSC) | 4,9 | 4,5 | 24,9 |
| a ciclo combinato (CCC) | 92,0 | 85,0 | 52,9 |
| a vapore a contropressione (CPC) | 2,2 | 2,0 | 44,7 |
| Totale B | 108,3 | 100,0 | 50,2 |
| Totale impianti termoelettrici (A+B) | 220,2 | | 46,9 |

mento di primo principio di questi impianti, dato dal rapporto fra l'energia totale fornita (elettrica e termica) e l'energia intrinseca nel combustibile, sale al 59 per cento: anche se un po' meno rispetto agli impianti non cogenerativi, gli impianti nazionali di cogenerazione sprecano comunque quantità notevoli di energia termica (per il 41 per cento dell'energia immessa). Infatti, non necessariamente gli impianti che effettuano una produzione combinata di energia e calore sono impianti ad alta efficienza energetica.

La normativa vigente premia con benefici di vario genere (Certificati Bianchi, priorità di dispacciamento, eccetera) solo la cosiddetta CAR - Cogenerazione ad Alto Rendimento (impianti di cogenerazione che realizzano un risparmio di energia primaria almeno del 10 per cento rispetto alla produzione separata di energia e calore).

Se si considera il complesso degli impianti CAR (nel 2010:

potenza elettrica installata complessiva di 10.400 MW, energia elettrica prodotta 56 TWh, calore utile 41 TWh), il rendimento medio di primo principio sale al 66 per cento, superiore a quello dell'insieme più ampio degli impianti di cogenerazione (59 per cento) e a quello ancora più ampio di tutti gli impianti termoelettrici (49,9 per cento). Inoltre, è addirittura di 26 punti percentuali maggiore rispetto al sottoinsieme degli impianti di sola generazione elettrica (rendimento del 40,6 per cento). Questo significa non solo che le disposizioni normative sulla CAR consentono di innalzare significativamente il rendimento energetico degli impianti di cogenerazione, ma anche che il ruolo della CAR in Italia è ancora limitato (l'incidenza della CAR sulla potenza complessiva termoelettrica è del 13 per cento, l'incidenza sull'energia elettrica prodotta del 25 per cento): ci sono ampi spazi di sviluppo della stessa, sia in sostituzione

Cogenerazione - Bilancio energetico degli impianti termoelettrici tradizionali per la produzione combinata di energia e calore, per tipo di impianti, Italia, anno 2010

Tabella 2

Fonte: TERNA (2011), Dati statistici sull'energia elettrica in Italia, anno 2010, Elaborazione Amici della Terra delle tab. 32 e 33

| Tipo di impianti | Energia elettrica (produzione netta) | | Calore utile | | Totale energia utile | Totale energia primaria | Rendimento di primo principio | Indice elettrico/termico |
|--|--------------------------------------|--------------|------------------|--------------|----------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| | TWh _e | % | TWh _t | % | TWh finali | TWh primari | % | I |
| a combustione interna (CIC) | 5,4 | 5,0 | 4,8 | 8,5 | 10,2 | 15,9 | 64,3 | 1,1 |
| a turbine a gas (TGC) | 3,8 | 3,5 | 5,6 | 10,0 | 9,3 | 12,8 | 73,1 | 0,7 |
| a vapore a condensazione con spillamento (CSC) | 4,9 | 4,5 | 9,7 | 17,3 | 14,6 | 30,4 | 48,0 | 0,5 |
| a ciclo combinato (CCC) | 92,0 | 85,0 | 28,6 | 51,0 | 120,6 | 206,2 | 58,5 | 3,2 |
| a vapore a contropressione (CPC) | 2,2 | 2,0 | 7,4 | 13,2 | 9,6 | 13,2 | 73,1 | 0,3 |
| Impianti di cogenerazione | 108,3 | 100,0 | 56,1 | 100,0 | 164,4 | 278,4 | 59,0 | 1,9 |



Meglio sfruttare la miniera del calore

di potenza termoelettrica non cogenerativa, sia nell'ambito degli stessi impianti di cogenerazione.

Per fare intuire il potenziale di miglioramento, se si assumesse che tutti gli impianti di sola generazione elettrica e quelli di cogenerazione sub-standard si allineassero alle attuali prestazioni degli impianti di cogenerazione ad alta efficienza energetica, le perdite di energia di questi impianti si ridurrebbero di 89 TWh a parità di energia primaria impiegata, evitando consumi energetici primari nei settori di riutilizzo del calore per 7,7 Mtep ed emissioni di CO₂ che possono essere stimate pari a 19,2 milioni tonnellate (va precisato che le attuali prestazioni degli impianti CAR rispondono a standard che la nuova proposta di direttiva si propone di incrementare ulteriormente).

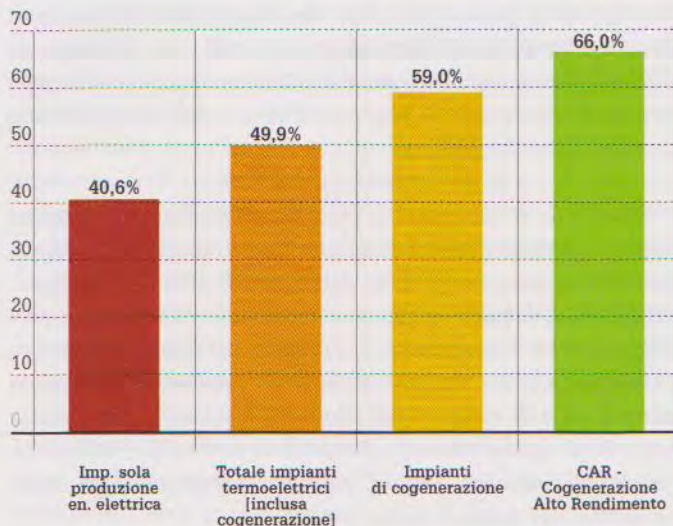
Cosa frena la cogenerazione ad alto rendimento? Nel periodo estivo sono stati pubblicati gli attesi Decreti sulla cogenerazione ad alto rendimento (4 agosto e 5 settembre 2011), che hanno aggiornato le metodologie di calcolo e varato il nuovo regime di sostegno della CAR previsto dal Dlgs 8 febbraio 2007 e dalla Legge 99/2009. Il nuovo sistema incentivante, che riconosce i Titoli di Efficienza Energetica in relazione al risparmio energetico e ad un fattore maggiorativo compreso fra 1 e 1,4 (maggiore per impianti di piccola taglia), è sicuramente più vantaggioso rispetto a quello previgente, basato sulle disposizioni della delibera AEEG 42/02. Tuttavia, le nuove prospettive di rilancio della cogenerazione ad alto rendimento sono state subito pregiudicate da una Nota dell'Agenzia delle Dogane, emanata il giorno dopo l'approvazione del Decreto sugli incentivi, in materia di fiscalità del gas metano utilizzato per la produzione di energia elettrica in impianti di cogenerazione. L'Agenzia ha inteso modificare il metodo di calcolo per la determinazione del combustibile soggetto ad aliquota agevolata per la produzione di energia elettrica introducendo un algoritmo che fa-

vorisce l'inefficienza energetica, perché aumenta il carico fiscale all'aumentare dell'energia termica recuperata. In pratica, nel momento in cui il ministro dello Sviluppo economico emana i Decreti volti alla promozione della cogenerazione, in attuazione delle disposizioni del legislatore comunitario e nazionale, un'Agenzia prende una decisione che rema contro questa disposizione. Alla Conferenza nazionale sull'efficienza energetica è stato unanime il coro

Rendimento di primo principio per gli impianti termoelettrici di generazione, anno 2010

Figura 2

Fonte: Elaborazione Amici della Terra (2011) su dati TERNA e GSE (cogenerazione ad alto rendimento) relativi al 2010





che auspica una riconsiderazione della *Nota* dell'Agenzia delle Dogane, alla luce di una più generale verifica di coerenza normativa.

DIFFICOLTÀ DI RECUPERO

Impianti a bioenergie - La produzione complessiva di energia elettrica degli impianti di generazione alimentati con bioenergie (biomasse solide, liquide e gassose) in Italia è di 9,4 TWh (corrispondente a meno del 5 per cento del totale della produzione termoelettrica, di circa 230 TWh nel 2010, includendo anche le bioenergie). Due terzi circa della produzione elettrica da bioenergie è ottenuta da impianti dedicati, mentre solo 3,3 TWh sono prodotti in impianti di cogenerazione, quindi con recupero di almeno parte del calore. La percentuale media di elettricità da cogenerazione in impianti alimentati con bioenergie (34 per cento) è molto più bassa di quella degli impianti termoelettrici a combustibili fossili (49 per cento). Prestazioni mediocri di cogenerazione caratterizzano gli impianti a biomasse solide (2,3 TWh, di cui il 32 per cento cogenerativi), e gli impianti a bioliquidi (*oli vegetali grezzi*), con 2,7 TWh, di cui il 34 per cento di elettricità cogenerativa. Dato che la produzione elettrica degli impianti a bioenergie è triplicata nel periodo 2003-2010, soprattutto in virtù dei meccanismi incentivanti per le rinnovabili, è probabile che l'asimmetria nelle prestazioni di efficienza energetica degli impianti a bioenergie rispetto a quelli a combustibili fossili, con sprechi termici notevolmente maggiori per i primi, sia dovuta non solo a vincoli geografici (siti localizzati dove la risorsa si rende disponibile, come nel caso del biogas da discarica), ma anche alla struttura degli incentivi per la produzione energetica a biomasse, che non premiano la produzione combinata di calore (oltre all'elettricità).

Rifiuti - Se si esaminano le prestazioni di efficienza energetica degli impianti di termovalorizzazione dei rifiuti (dati ISPRA, in questo caso comprensivi anche della quota di rifiuti non biodegradabili), su 49 impianti in funzione, ce ne sono due che non producono un briciolo di energia (1 per cento dei rifiuti), mentre il 63 per cento dei rifiuti inceneriti è trattato in impianti di generazione elettrica privi di recupero del calore e il restante 36 per cento in impianti di cogenerazione (39 per cento in termini di elettricità cogenerativa, quindi un livello di cogenerazione inferiore alla media nazionale degli impianti termoelettrici).

Meglio sfruttare la miniera del calore

Ma il dato forse più sorprendente è che, se si rapporta l'energia ottenuta all'energia intrinseca dei rifiuti (stimata in base al potere calorifico inferiore), il rendimento di primo principio del complesso degli impianti di incenerimento è appena del 24 per cento: una percentuale che, ovviamente, si alza nel caso degli impianti di cogenerazione (35 per cento), ma che crolla ad un misero 18 per cento negli impianti di generazione elettrica privi di recupero del calore. Anche l'analisi dei dati dell'ultimo decennio (2000-2009) conferma il fatto che la crescita della produzione di calore dei termovalorizzatori non è andata di pari passo con la crescita della produzione elettrica. Evidentemente, anche in questo settore di nicchia si potrebbe fare molta più efficienza: non solo recuperando il calore degli impianti di sola generazione che attualmente lo sprecano completamente, ma anche stimolando una maggior quota di recupero del calore.

Generazione distribuita - Il rapporto dell'AEEG Monitoraggio dello sviluppo degli impianti di generazione distribuita per l'anno 2009 dimostra che le opportunità per la cogenerazione aumentano nettamente al ridursi della potenza degli impianti. Infatti, gli impianti di generazione distribuita (cioè con potenza nominale inferiore a 10 MW), la cui produzione era di 10,9 TWh nel 2009, presentano una quota di elettricità cogenerata del 74 per cento (8,1 TWh), una percentuale di ben 25 punti superiore alla media degli impianti termoelettrici.

Se si considera invece il solo segmento della *piccola generazione* (impianti con capacità di generazione non superiore a 1 MW), la cui produzione è limitata a 0,7 TWh, la quota di elettricità cogenerata si riduce al 42 per cento (0,3 TWh). Questo crollo della cogenerazione nel segmento <1 MW è dovuto soprattutto al ruolo degli impianti di generazione che utilizzano biogas da discarica, per le maggiori difficoltà di una loro localizzazione in funzione delle utenze termiche.

NELL'INDUSTRIA DI PROCESSO

Significative perdite di calore si realizzano anche nel settore industriale, anche se allo stato attuale non si dispone di valutazioni sufficientemente sistematiche. I fabbisogni termici nell'industria sono fortemente differenziati a seconda del processo industriale, delle caratteristiche del vettore termico (aria, gas, vapore, acqua, oli diatermici, eccetera), delle temperature e dei quantitativi che necessitano per eseguire fusioni, lavorazioni a caldo, essiccazioni, cotture, eccetera.

A valle degli usi di processo, l'energia residua viene dissipata in ambiente esterno. A parte gli impatti ambientali che la dissipazione di ingenti quantità di energia può provocare, in molti casi la dissipazione stessa del calore residuo avviene senza valutare preventivamente le possibilità di recuperare l'energia per usi produttivi, in particolare all'esterno dello stabilimento, per soddisfare fabbisogni di utenze locali, industriali, commerciali o civili. Tipici

esempi di dissipazione del calore sono i gas di scarico di fumaioli, torri di raffreddamento, acque di raffreddamento di motori o processi scaricate nei fiumi o in mare. A quanto ammontano queste perdite? Difficile dirlo con esattezza. Quel che è certo è che i consumi dell'industria per usi termici sono cospicui: 233 TWh in base al Bilancio Energetico Nazionale 2009, pari a circa 20,1 Mtep (ad essi si aggiungono circa 114 TWh di consumi elettrici dell'industria).

Da questo dato si deduce che le perdite di energia termica nell'industria, anche se stimate in maniera grossolana e cautelativa ad almeno il 20 per cento, ammonterebbero a non meno di 4 Mtep: una cifra notevole (anche se siamo lontani dai 14 Mtep dissipati dalle centrali termoelettriche prive di recupero del calore), che - se il calore fosse opportunamente recuperato - potrebbe generare riutilizzi produttivi nel settore stesso così come in altri settori d'uso finale dell'energia.

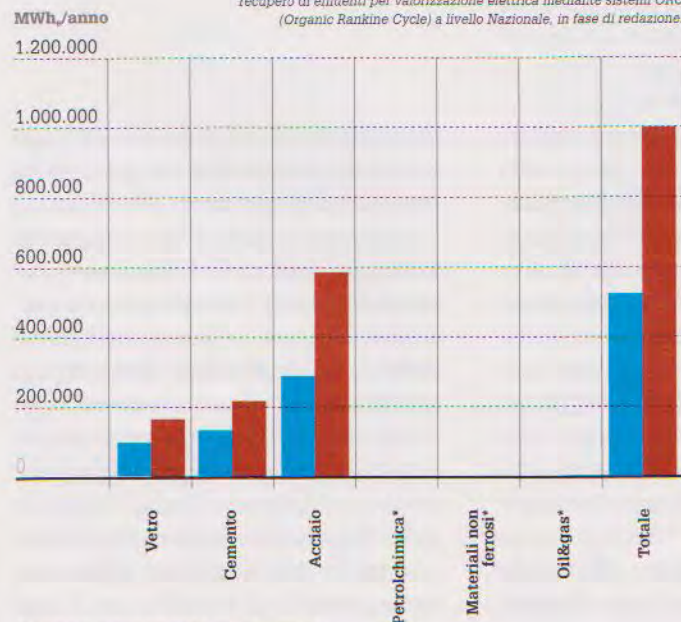
Scarse le ricerche disponibili sul potenziale di recupero produttivo del calore di scarto nell'industria. Fra quelle in corso, si distingue il progetto H-REII (partner di progetto: Associazione Industriale Bresciana, FIRE, Turboden, Centro Servizi Multisetoriale e Tecnologico e Provincia di Brescia), volto a mappare le potenzialità di recupero di effluenti in aziende altamente energivore (cementifici, industrie del vetro, siderurgie, alluminio e non ferrosi, trattamenti termici, industria chimica, raffinerie oil&gas, agroindustria, tessile, cartario) mediante l'utilizzo della tecnologia ORC (Organic Rankine Cycle) con taglie comprese di generazione elettrica tra 0,5 MW_e e 5 MW_e. Nell'ambito di questo progetto, che ha sinora esaminato solo tre settori dei 10 investigati (industria del vetro, della produzione di cemento e industria siderurgica limitatamente ai forni di riscaldamento), stanno emergendo perdite comprese fra il 20-30 per cento dell'energia primaria utilizzata.

Stima dell'energia elettrica producibile mediante applicazioni ORC in tre settori

Figura 3

■ MIN MWh_e/anno ■ MAX MWh_e/anno

Fonte: Progetto H-REII, Report intermedio LIFE+ sulle potenzialità di recupero di effluenti per valorizzazione elettrica mediante sistemi ORC (Organic Rankine Cycle) a livello Nazionale, in fase di redazione.



* settori attualmente sotto esame



Inoltre, il potenziale di produzione di elettricità mediante recupero del calore residuo nei soli tre settori finora esaminati arriva fino a 1 TWh, ovvero la produzione massima associata ad un potenziale di circa 130 MW_e di potenza ORC installabile in circa 80 siti produttivi, un valore che a titolo di confronto rappresenta il 5 per cento dell'obiettivo al 2016 di risparmio energetico per l'intero comparto industriale previsto dal PAEE (2011). Assumendo un costo d'investimento medio della tecnologia ORC di circa 3 milioni di euro/MW, si stimano poco meno di 400 milioni euro di investimenti attivabili. Questi sistemi di generazione distribuita di piccola taglia sono replicabili in Europa e nel mondo, e l'industria italiana è attualmente leader nel settore, con enorme potenzialità di consolidamento dell'intera filiera (scambiatori di calore, produttori di sistemi di abbattimento dei gas esausti, ingegneria di processo, eccetera), con ricadute occupazionali sul territorio nazionale. Considerando i soli 3 settori industriali in cui la tecnologia ORC è stata sinora valutata, a livello europeo si può stimare molto preliminarmente un potenziale di circa 630 MW_e, con un ordine di grandezza degli investimenti di 1,8 miliardi di euro.

Le nuove linee guida per i TEE, un meccanismo di incentivazione dell'efficienza energetica di cui ha sinora poco beneficiato il settore industriale (dall'avvio del meccanismo fino al 31 maggio 2011, gli interventi di efficienza energetica riguardanti l'industria hanno contribuito per appena il 20 per cento del risparmio generato), potrebbero rilanciare gli investimenti nel settore dei recuperi termici da processi industriali. A questo scopo sarà cruciale l'atteso decreto ministeriale di riforma dei TEE, che si spera possa avvallare le linee guida dell'AEEG, confermando e rilanciando il meccanismo almeno fino al 2020.