

Località Piacenza	Doc. n. R 2.1/3	
Progetto ECATE	Rev 0.	

Progetto E.C.A.T.E.

Efficienza e Compatibilità Ambientale delle Tecnologie Energetiche



> BENEFICI PROSPETTIVE ED INCOGNITE TECNOLOGICHE DEI SISTEMI INTEGRATI TERMOVALORIZZATORI – CICLI A COMBUSTIBILE FOSSILE

NOTA : IL PRESENTE DOCUMENTO E' EMESSO IN REVISIONE 0, IN PRIMA EMISSIONE. ESSO PUO' ESSERE SOGGETTO A FUTURE REVISIONI

0	Prima emissione	Ing. Dainese	Prof. Consonni		Ottobre 07
REV	DESCRIZIONE	ELABOR	VERIFICATO	APPROVATO	DATA

LEAP / Relazione del mese 15

Sottoprogetto 2

ENERGIE RINNOVABILI O ASSIMILATE

Obiettivo Realizzativo 2.1

BILANCI ENERGETICI E AMBIENTALI DEL RECUPERO DI ENERGIA DAI RIFIUTI

Risultato R2.1/3

BENEFICI PROSPETTIVE ED INCOGNITE TECNOLOGICHE DEI SISTEMI INTEGRATI TERMOVALORIZZATORI – CICLI A COMBUSTIBILE FOSSILE

A cura di:

S. Consonni, G. Lozza, E. Macchi, C. Dainese

INDICE

INTRODUZIONE	3
2. MOTIVAZIONI DELLA PROPOSTA	3
3. OBIETTIVI	3
4. IL CONTESTO DI RIFERIMENTO	4
5. L'IMPIANTO INTEGRATO	4
5.1 Motivazione dell'integrazione	5
5.2 Configurazione dell'impianto	6
6. VANTAGGI DELL'INTEGRAZIONE	7
7. PRESTAZIONI ENERGETICHE ED AMBIENTALI	8
7.1 Potenza elettrica e rendimento	8
7.2 Emissioni	12
8. ASPETTI ECONOMICI GENERALI	13
9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	16
Bibliografia	17

INTRODUZIONE

Questo documento descrive una proposta per una possibile realizzazione di impianto avanzato con eccezionali caratteristiche energetiche e ambientali. Tale impianto é costituito da un termoutilizzatore di rifiuti a griglia integrato con un ciclo combinato alimentato a gas naturale in assetto cogenerativo.

Ciascuno dei due sottosistemi – il termoutilizzatore ed il ciclo combinato – hanno caratteristiche conformi alla migliore tecnologia oggi disponibile per tali sistemi, con prestazioni di per se già nettamente superiori alla media degli impianti oggi in esercizio. La loro integrazione fornisce vantaggi energetici, ambientali ed economici, arrivando ad una situazione che, sia dal punto di vista del termoutilizzo dei rifiuti sia dal punto di vista dell'impiego di gas naturale, è assolutamente di avanguardia.

2. MOTIVAZIONI DELLA PROPOSTA

Una serie di problematiche tecniche e di opportunità termodinamiche rendono attraente l'integrazione di due tecnologie già ampiamente consolidate come quelle dei termoutilizzatori a griglia e dei cicli combinati. La loro integrazione non comporta lo sviluppo di alcuna nuova tecnologia, bensì l'utilizzo intelligente di tecnologie già esistenti, con modalità di gestione certamente alla portata dei moderni sistemi di regolazione e controllo. Come tale, l'integrazione qui considerata è sicuramente proponibile per impianti commerciali per i quali l'affidabilità di esercizio è un requisito imprescindibile.

3. OBIETTIVI

La proposta dell'impianto integrato mira a conseguire più obiettivi di carattere tecnologico, ambientale, energetico, economico e gestionale:

- a) Realizzazione di un impianto che, pur producendo grandi quantità di energia elettrica e calore per teleriscaldamento, diminuisca complessivamente e significativamente le emissioni nell'area metropolitana e migliori quindi la qualità dell'aria;
- b) Minimizzazione della ricaduta al suolo delle emissioni nell'area circostante l'impianto in modo che la qualità dell'aria nella zona interessata dal termoutilizzatore sia praticamente inalterata;
- c) Impiego di tecnologie avanzate ma "provate", ovvero senza ricorso a componenti nuovi da sperimentare in campo;
- d) Massima affidabilità del termoutilizzatore, che non deve essere minimamente pregiudicata dall'integrazione con il ciclo combinato. Il termoutilizzatore deve poter trattare rifiuti anche in caso di fuori servizio della turbina a gas;
- e) Drastico abbattimento dei costi di conferimento dei rifiuti;

f) Creazione di condizioni favorevoli per la realizzazione di una rete di teleriscaldamento di potenzialità significativa, alimentata in modo intelligente.

La rilevanza di questi obiettivi è tale che, una possibile messa in opera, sarebbe una prova concreta della capacità di realizzare sistemi di avanguardia che coniugano economicità e affidabilità con il rispetto dell'ambiente ed il risparmio energetico.

4. IL CONTESTO DI RIFERIMENTO

Oltre che per la rilevanza degli obiettivi conseguibili, l'impianto qui proposto è interessante per una serie di circostanze favorevoli, che potranno agevolare l'iter autorizzativo, l'accettazione da parte dell'opinione pubblica ed il quadro economico dell'opera.

- Le tematiche di risparmio energetico e di risanamento ambientale sono di grande attualità.
- Il decreto "Marzano" prevede di attribuire i certificati verdi anche all'energia prodotta da impianti di teleriscaldamento.
- La rete nazionale ha grande bisogno di energia.
- L'impianto proposto mantiene ottime prospettive economiche anche se la valorizzazione dell'energia elettrica da RSU dovesse diminuire.
- L'impianto proposto utilizza meglio (in termini energetici ed ambientali) il gas naturale rispetto alle migliori centrali termoelettriche (i moderni cicli combinati).

5. L'IMPIANTO INTEGRATO

L'integrazione tra un termoutilizzatore di rifiuti ed un impianto a combustibile fossile può essere realizzata in una varietà di configurazioni:

- integrando le sezioni a vapore;
- integrando i percorsi dei prodotti di combustione;
- integrando sia le sezioni a vapore sia i percorsi dei prodotti di combustione.

La concreta fattibilità e l'opportunità di realizzare ciascun tipo di integrazione dipendono dalla tecnologia dell'impianto a combustibile fossile (centrale termoelettrica a vapore, turbina a gas, ciclo combinato), dall'assetto produttivo (produzione di sola elettricità o cogenerazione) dai parametri di progetto, dalla taglia dei due impianti da integrare e da una serie di altre circostanze tecniche, economiche, gestionali.

In questa proposta si considera l'integrazione attraverso la sezione a vapore di un ciclo combinato alimentato a gas naturale secondo lo schema concettuale riportato in figura 5.1. I grandi cicli combinati a gas naturale sono la tecnologia di punta oggi impiegata per la generazione di elettricità su grande scala. Per un complesso di motivi ambientali, tecnici ed economici essi appaiono l'unica tecnologia a combustibile fossile ragionevolmente proponibile.

L'impianto integrato, infatti, deve essere collocato a ridosso di un'area metropolitana per essere vicino al baricentro di produzione dei rifiuti e alle utenze termiche che potrebbero essere servite con il teleriscaldamento cogenerativo.

Tale collocazione impone una tecnologia a ridottissimo impatto ambientale basata su un combustibile estremamente “pulito” come appunto il ciclo combinato alimentato a gas naturale.

5.1 Motivazione dell'integrazione

La ricerca di configurazioni “integrate” tra termoutilizzatori di rifiuti ed impianti alimentati con combustibile fossile è motivata dal desiderio di eliminare - o perlomeno attenuare - una serie di handicap tecnologici e termodinamici che affliggono i termoutilizzatori.

- Per ridurre la corrosione in caldaia, è necessario mantenere pressione e temperatura del vapore all'ammissione della turbina a valori molto inferiori a quelli normalmente adottati nelle centrali a combustibile fossile. Ciononostante, la caldaia di un termoutilizzatore rimane comunque fortemente esposta a problemi di corrosione, cosicché le parti ad alta temperatura (il surriscaldatore) hanno vita utile comunque molto inferiore a quella raggiungibile nelle centrali a combustibile fossile. Questi problemi potrebbero essere eliminati quasi integralmente effettuando il surriscaldamento del vapore con i prodotti di combustione “puliti” di un combustibile fossile di qualità come il gas naturale.
- Anche nel caso di grandi termoutilizzatori a servizio di bacini con popolazione superiore a un milione di abitanti, la taglia del ciclo a vapore è comunque piccola rispetto alle tipiche taglie delle centrali termoelettriche. Di qui i rendimenti relativamente modesti della turbina a vapore, le cui prestazioni peggiorano significativamente al diminuire della potenza erogata.
- Per motivi economici e termodinamici, non è conveniente adottare per un termoutilizzatore le sofisticate configurazioni normalmente adottate nelle centrali termoelettriche, da cui un inevitabile scadimento del rendimento.

La configurazione integrata qui proposta consente di eliminare tutti questi handicap, con l'aggiunta di alcuni benefici accessori.

- Consistente riduzione dei costi specifici di investimento e dei costi di smaltimento dei rifiuti, dovuti al fatto che un'importante serie di apparecchiature e servizi sono condivisi tra il ciclo combinato ed il termoutilizzatore.
- Realizzazione di un solo camino con una portata di fumi molto elevata (quella della turbina a gas), che aumenta la capacità penetrazione del getto di gas caldi in atmosfera e quindi la loro diluizione su un'area molto maggiore. Nel caso di inversione termica, il noto fenomeno che si verifica con una certa frequenza nella pianura padana, la penetrazione del getto di gas caldi al di sopra dello strato di inversione ne previene quasi totalmente la ricaduta al suolo.

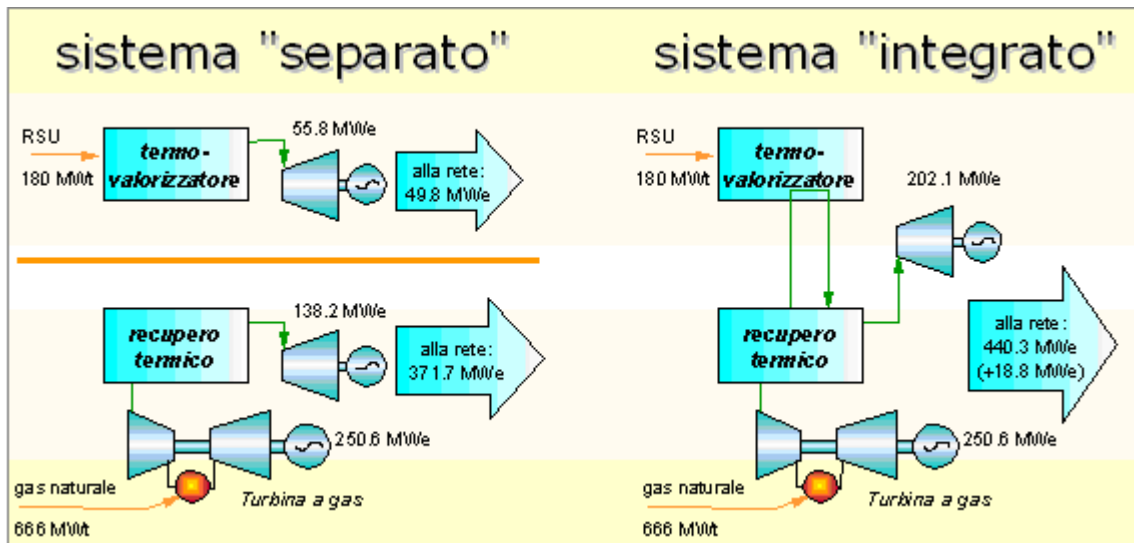


Figura 5. 1: Confronto tra il termoutilizzatore ed il ciclo combinato "separati" ed il sistema integrato con un solo ciclo a vapore alimentato sia dal combustore di rifiuti sia dalla caldaia a recupero del ciclo combinati. Le potenze indicate in figura si riferiscono ad un termoutilizzatore che viene considerato come esempio per affrontare il calcolo.

La figura 5.1 confronta la soluzione convenzionale con impianti "separati" con lo schema integrato qui proposto nel caso di produzione di sola elettricità. I valori numerici riportati in figura evidenziano i vantaggi dell'integrazione in termini di aumento della potenza generabile.

5.2 Configurazione dell'impianto

La figura 5.2 riporta la configurazione di dettaglio, con le condizioni e le portate dei principali flussi dell'impianto preso ad esempio. Il ciclo combinato è basato su una turbina a gas di ultima generazione di grande taglia, rappresentativa dei modelli da circa 250 MW offerti da Ansaldo-Siemens e General Electric. Il ciclo a vapore è a tre livelli di pressione, in linea con quanto tipicamente adottato nei cicli combinati di ultima generazione.

Le uniche emissioni di una certa rilevanza generate dalla turbina a gas sono gli ossidi di azoto. Per il ciclo combinato si è ipotizzato un combustore "Dry-Low-NOx" (DLN) ed un denitrificatore catalitico SCR in grado di limitare le emissioni di NOx a 5 mg/Nm^3 , un livello molto inferiore ai tipici 30 mg/Nm^3 dei cicli combinati recentemente entrati in servizio in Italia (con il solo combustore DLN, senza denitrificatore), ma tecnicamente conseguibile senza sviluppi tecnologici particolari.

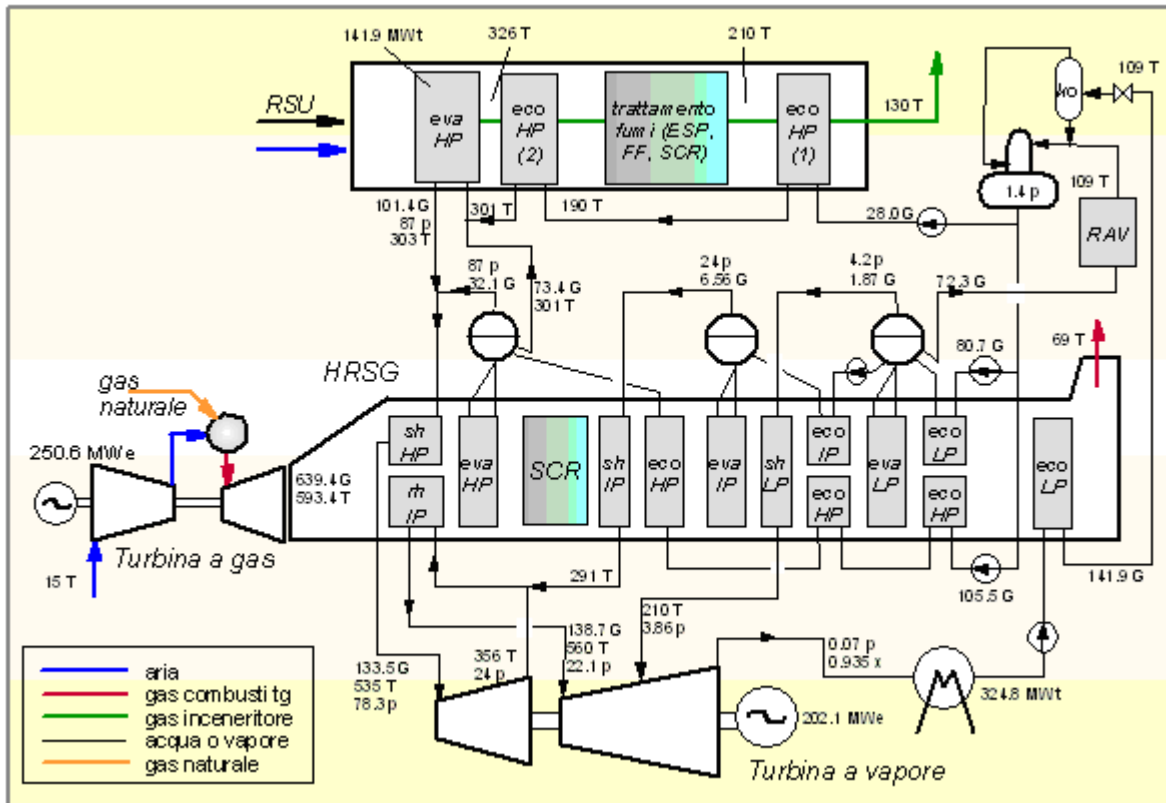


Fig 5.2: Schema e principali parametri di funzionamento dell'impianto integrato proposto, i valori inseriti si riferiscono ad un termovalorizzatore convenzionale che è stato considerato come esempio. La portata e le caratteristiche dei rifiuti che alimentano il combustore a griglia sono le stesse previste per il progetto di un termoutilizzatore "convenzionale" per un grande bacino (ad esempio Milano). Il ciclo combinato è basato su una turbina a gas di grande taglia di ultima generazione, corrispondente ai modelli da circa 250 MW offerti da Ansaldo-Siemens e da General Electric.

Il sistema di combustione e la linea fumi del termoutilizzatore sono gli stessi dell'impianto convenzionale "separato". L'integrazione coinvolge infatti solamente la sezione a vapore, senza condizionare minimamente la delicata problematica della combustione dei rifiuti e del controllo degli inquinanti generati dagli RSU.

6. VANTAGGI DELL'INTEGRAZIONE

L'integrazione genera una serie di benefici estremamente significativi, che richiamiamo brevemente nel seguito.

- Rispetto alla soluzione separata, vengono generati quasi 19 MW di potenza elettrica aggiuntiva, pari a oltre il 33% dei 55 MW generabili con un termoutilizzatore convenzionale. La generazione di questa potenza aggiuntiva è l'effetto combinato di: (i) condizioni di generazione del vapore più spinte (temperatura e pressione più elevate);

(ii) dimensioni molto maggiori della turbina a vapore; (iii) maggiore sofisticazione del ciclo a vapore.

- Il surriscaldamento del vapore generato nel termoutilizzatore avviene nella caldaia del ciclo combinato, eliminando così alla radice i problemi di corrosione che tipicamente affliggono il surriscaldatore del termoutilizzatore.
- Grazie alla condivisione di una serie di sottosistemi (non solo il ciclo a vapore, ma anche una serie di servizi di impianto) è possibile conseguire una consistente riduzione dei costi specifici di investimento [Euro per tonnellata/anno di capacità di smaltimento]. Anche grazie al maggior rendimento di generazione di elettricità, si ottiene inoltre una riduzione molto consistente del costo di smaltimento dei rifiuti.
- Come illustrato nel seguito, nel caso in cui l'impianto operi in assetto cogenerativo alimentando una rete di teleriscaldamento cittadino, è possibile ridurre le emissioni complessive di ossidi di azoto. Essendo tali emissioni le uniche significative imputabili al ciclo combinato, le emissioni di altre specie sono sostanzialmente le stesse del caso "separato". La realizzazione di un solo camino e "l'accoppiamento fluidodinamico" dei fumi generati dal termoutilizzatore con i prodotti di combustione della turbina a gas consente peraltro di ridurre la ricaduta al suolo di tutti gli inquinanti.

7. PRESTAZIONI ENERGETICHE ED AMBIENTALI

7.1 Potenza elettrica e rendimento

La figura 7.1 confronta le potenze lorde, degli ausiliari e nette esportabili alla rete elettrica per il solo termoutilizzatore e per l'impianto integrato. L'integrazione con il ciclo combinato cambia radicalmente il connotato energetico dell'impianto, aumentando la potenza esportabile di un ordine di grandezza (da circa 50 MW a oltre 440 MW) e trasformandolo in una vera e propria centrale termoelettrica cogenerativa di grande taglia. La figura 7.2 evidenzia come l'aumento della potenza elettrica sia ottenuto grazie all'input di gas naturale, che passa da un valore quasi nullo per il termoutilizzatore convenzionale, dove il gas naturale è usato in pratica solo per l'accensione e lo spegnimento, a oltre 15 milioni di GJ/anno per l'impianto integrato, che corrispondono a circa 442 milioni di Nm³.

La tabella 7.1 fornisce un dettaglio del bilancio energetico annuo. Nella stagione invernale, la potenza elettrica netta esportabile alla rete ovviamente diminuisce a causa dello spillamento di vapore a bassa pressione per alimentare la rete di teleriscaldamento, che è stata ipotizzata di dimensioni comunque sufficientemente grandi per accogliere tutto il calore producibile: circa 66 MW termici con il solo termoutilizzatore convenzionale, circa 366 MW termici con l'impianto integrato. Per quanto di tutto rispetto – da cui investimenti e tempi di realizzazione consistenti – i 366 MW termici considerati per l'impianto integrato sono certamente ampiamente compatibili con la dimensione di una grande città (ad esempio Milano): come termine di confronto, si consideri infatti che la rete di teleriscaldamento della città di Torino assorbe circa 1000 MW termici.

		Termo- utilizzatore convenzionale	Impianto integrato
RSU trattati	ton/anno	400.000	400.000
metano	GJ	0,20	15.284.998
potenza da RSU	MW _{el}	49,80	73,97
ore equivalenti	h/anno	6.375	6.375
inverno	h/anno	2.500	2.500
estate	h/anno	3.875	3.875
potenza inverno	MW _{el}	36,20	364,81
potenza TLR	MW _{th}	66,00	366,24
elettricità da RSU	MWh/anno	283.475	471.540
potenza da GN	MW _{el}	0,00	366,31
elettricità da GN	MWh/anno	0	2.146.541
elettricità totale	MWh/anno	283.475	2.618.080
potenza totale	MW _{el}	49,80	440,27

Tab. 7.1: Bilanci energetici per il termoutilizzatore convenzionale e per l'impianto integrato (TLR=telerriscaldamento; GN=gas naturale).

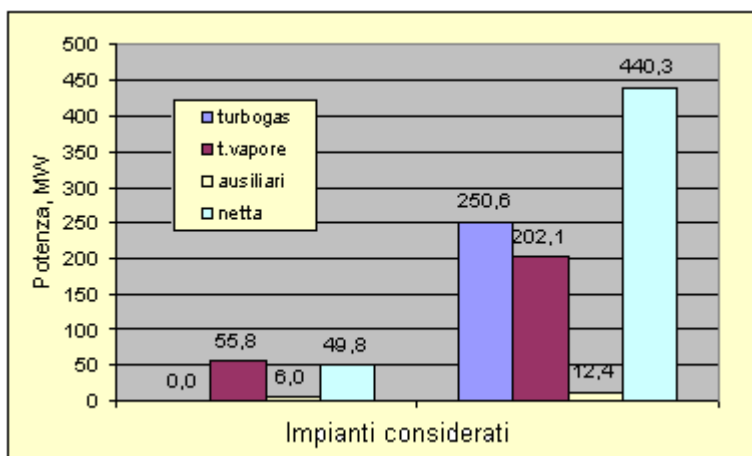


Fig. 7.1: Potenza elettrica generabile dal solo termoutilizzatore convenzionale (a sinistra) e dall'impianto integrato (a destra) nel caso di sola produzione di elettricità. In assetto cogenerativo, la potenza netta erogabile in ciascun caso è inferiore: per la stagione invernale si prevede una media di circa 36 MW elettrici più 66 MW termici nel caso del solo termoutilizzatore; circa 365 MW elettrici più 366 MW termici nel caso dell'impianto integrato (vedi Tab. 7.1).

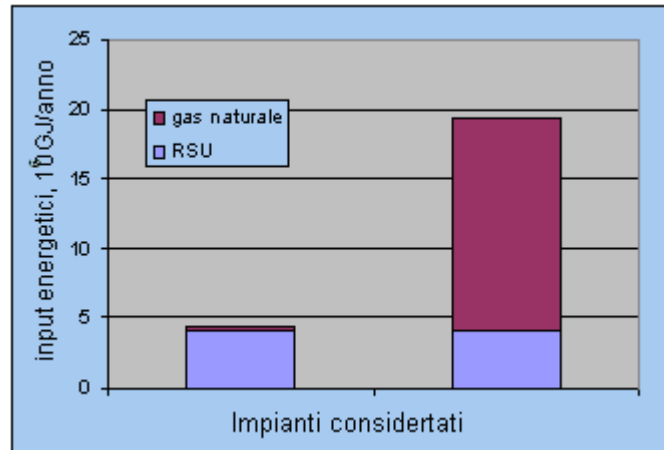


Fig. 7.2: Input energetico per il solo termoutilizzatore convenzionale (a sinistra) e per l'impianto integrato (a destra).

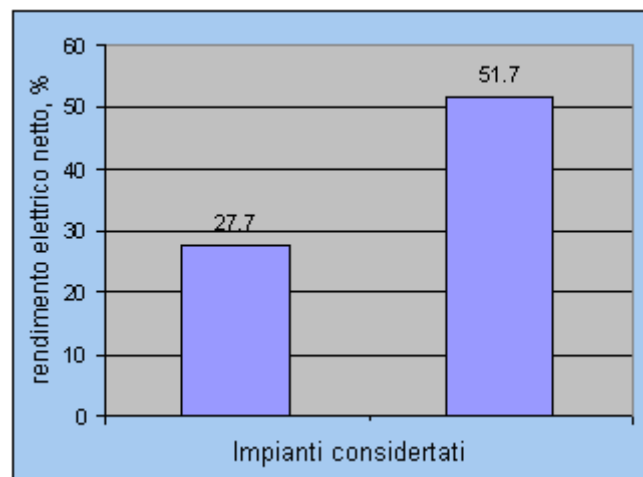


Fig. 7.3: Rendimento di generazione di elettricità per il solo termoutilizzatore convenzionale (a sinistra) e per l'impianto integrato (a destra). Il rendimento per l'impianto integrato è il rapporto tra potenza elettrica netta e somma delle potenze di combustione di RSU e di gas naturale.

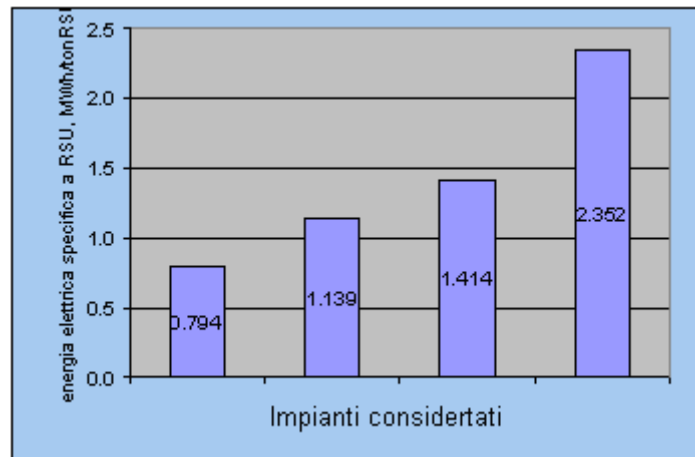


Fig. 7.4: Produzione di elettricità per tonnellata di RSU. La barra di sinistra si riferisce al caso del solo termoutilizzatore. La seconda da sinistra all'impianto integrato, per il quale si assume che il gas naturale che alimenta la turbina a gas sia convertito in elettricità con un rendimento del 55% - il valore di riferimento stabilito dall'Autorità per L'Energia Elettrica ed il Gas (AEEG) per i nuovi cicli combinati. Le altre due barre si riferiscono sempre all'impianto integrato, ma per due diversi valori del rendimento di conversione del gas naturale: 52,4% - la media del rendimento dei cicli combinati italiani nel 2003 - e 43,6% - la media dell'utilizzo del gas naturale per produzione elettrica in Italia nel 2003.

Le figure 7.3 e 7.4 riportano i rendimenti e i consumi specifici per il caso di sola produzione di elettricità. Il rendimento dell'impianto integrato in figura 7.3 è stato calcolato come rapporto tra la potenza netta esportabile alla rete e la somma della potenza di combustione del gas naturale e la potenza di combustione dei rifiuti - una definizione termodinamicamente criticabile in quanto gas naturale e rifiuti hanno attributi ben diversi, che tuttavia dà il senso della prestazione media complessiva. La produzione specifica dell'impianto integrato riportata in figura 7.4 è stata calcolata "scorporando" dalla produzione elettrica totale la quota attribuibile al gas naturale; la rimanente potenza elettrica è quella attribuibile ai rifiuti, che divisa per la portata di rifiuti dà appunto la produzione specifica nella figura. La quota attribuibile al gas naturale è stata valutata sulla base di tre diversi rendimenti produzione elettrica da gas naturale:

- il valore stabilito dall'Autorità per L'Energia Elettrica e il Gas (AEEG): 55%;
- la media del rendimento dei cicli combinati italiani nel 2003: 52,4%
- la media del rendimento con il quale il gas naturale è stato utilizzato in Italia nel 2003 per generazione di elettricità: 43,6%.

Come si vede in figura, la produzione specifica della quota di elettricità "rimanente" attribuibile ai rifiuti cambia in modo sostanziale al variare del rendimento ipotizzato per l'utilizzo del gas naturale. Tuttavia, anche nel caso più severo (e ben lontano dalla media dell'attuale realtà italiana) del valore stabilito dall'AEEG, la produzione specifica dell'impianto integrato risulta superiore a quella dell'impianto convenzionale di oltre il 43% (1139 kWh per tonnellata di RSU contro 794 kWh per tonnellata di RSU).

E' importante sottolineare come le produzioni specifiche (MWh per tonnellata) riportate nella figura 7.4 dipendono ovviamente dal potere calorifico del rifiuto. Al variare del potere calorifico del rifiuto, il rapporto tra i valori dei quattro casi sono tuttavia circa costanti.

7.2 Emissioni

Come già citato, le uniche emissioni significative generate da una turbina a gas sono gli ossidi di azoto, ed è quindi su tale inquinante che è necessario valutare comparativamente la differenza tra il termoutilizzatore convenzionale e l'impianto integrato. Per tutti gli altri inquinanti la situazione è la stessa del termoutilizzatore convenzionale, con il già citato beneficio aggiuntivo di poter ridurre le ricadute al suolo in conseguenza dell'azione di trascinarsi del flusso generato dalla turbina a gas.

Il bilancio delle emissioni di ossidi di azoto comprende tre termini:

- emissioni dal termoutilizzatore, che non sono influenzate dall'integrazione poiché, come illustrato in figura 5.1, il percorso della linea fumi del termoutilizzatore è sempre lo stesso; di conseguenza le emissioni di ossidi di azoto sono quelle previste, che prevede l'installazione di un denitrificatore SCR tale da garantire concentrazioni al camino di 50 mg/Nm³;
- emissioni dalla turbina a gas, per la quale si è ipotizzata l'installazione di un sistema di denitrificazione SCR in grado di abbattere oltre l'80% (da 30 a 5 mg/Nm³) le già contenute emissioni generate da un combustore DLN;
- emissioni evitate dal teleriscaldamento, che dipendono dalla potenza degli impianti termici sostituiti dal teleriscaldamento, ovvero dalla potenza termica cogenerata; tale potenza aumenta molto sostanzialmente (da circa 66 MW termici a circa 366 MW termici, vedi tabella 7.1) nel caso dell'impianto integrato, da cui segue che nel caso dell'impianto integrato le emissioni evitate con il teleriscaldamento aumentano di oltre cinque volte; per la valutazione di queste emissioni evitate si è ipotizzato che le caldaie oggi impiegate per riscaldamento civile emettano 57 mg di ossidi di azoto per MJ di input termico, un valore rappresentativo delle caldaie alimentate a gas naturale oggi sul mercato.

Sulla base delle emissioni specifiche citate sopra e di ragionevoli valori per i parametri medi annui di funzionamento di un termoutilizzatore e di un impianto integrato (tenore di ossigeno e umidità nei prodotti di combustione, densità normale, numero di ore annue equivalenti) è possibile stimare le emissioni annue complessive, che sono riepilogate nella figura 7.5. L'impianto integrato comporta un aumento delle emissioni di ossidi di azoto da circa 127 a circa 206 tonnellate/anno, che è tuttavia più che compensato dall'aumento delle emissioni evitate da 34 a 188 ton/anno. Di conseguenza, le emissioni nette nell'area interessata dall'impianto e dal teleriscaldamento diminuiscono da 94 a 18 ton/anno.

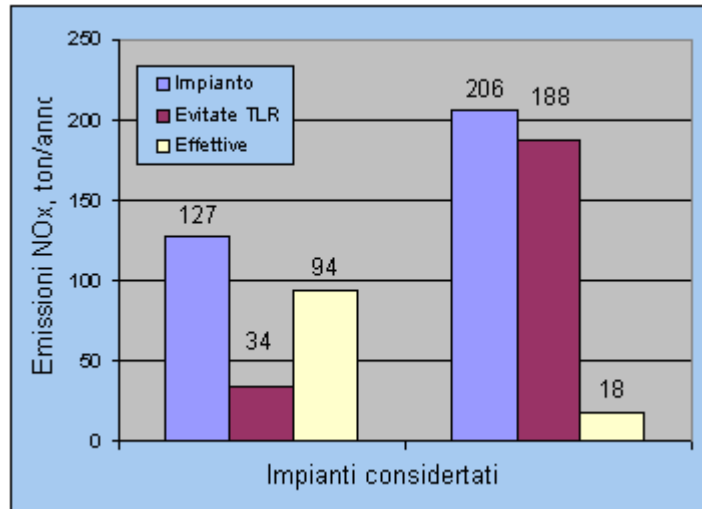


Fig. 7.5: Emissioni complessive di ossidi di azoto. Le tre barre di sinistra si riferiscono al solo termoutilizzatore "separato", quelle di destra all'impianto integrato. La barra centrale delle emissioni evitate dal teleriscaldamento quantifica la riduzione delle emissioni conseguente al mancato utilizzo delle caldaie per riscaldamento ambiente o acqua igienico-sanitaria distribuite nell'area metropolitana servita dal teleriscaldamento.

8. ASPETTI ECONOMICI GENERALI

La costruzione di un impianto integrato consente di realizzare sinergie e quindi riduzioni di costo certamente significativi in quanto:

- un solo ciclo a vapore ed una sola turbina a vapore servono sia il termoutilizzatore sia il ciclo combinato;
- esiste un solo impianto urea/ammoniaca per la denitrificazione dei prodotti di combustione, a servizio sia del termoutilizzatore sia del ciclo combinato;
- esiste una sola sala controllo, un solo DCS, una sola cabina elettrica di interfaccia con la rete elettrica esterna, etc.;
- tutta una serie di ausiliari possono essere messi in comune.

In questa sede abbiamo ipotizzato – conservativamente – che tutte queste sinergie comportino una riduzione di costi di circa 21 milioni di Euro, ovvero che a fronte di un costo del solo termoutilizzatore di 225 milioni di Euro e del solo ciclo combinato di 190 milioni di Euro, il costo dell'impianto integrato sia di circa 384 milioni di Euro (vedi figura 8.1) – circa 21 milioni di Euro in meno della somma dei costi dei suoi impianti separati.

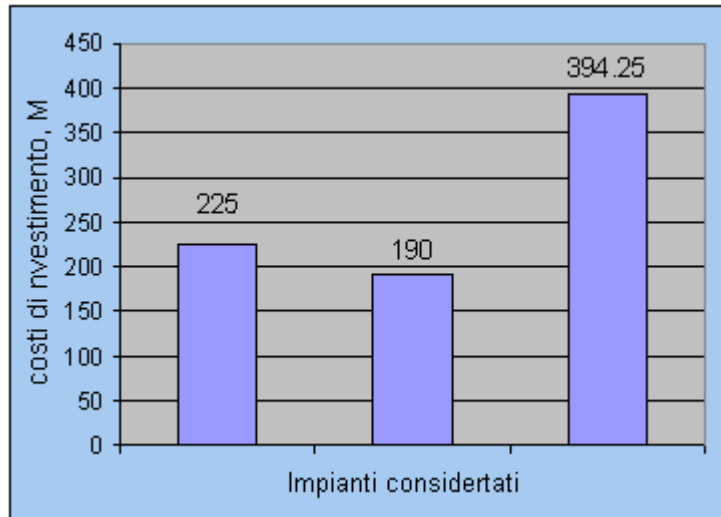


Fig. 8.1: Costi di investimento previsti, da sinistra, per il termoutilizzatore convenzionale, il ciclo combinato e l'impianto integrato.

		Termo- utilizzatore convenzionale	Impianto integrato
investimenti		225.000.000,00	394.250.000,00
totale costi	€/anno	38.764.582	125.270.060
investimenti	€/anno	18.054.582	31.635.640
spesa metano	€/anno	0	68.782.493
personale	€/anno	4.050.000	4.781.928
reagenti	€/anno	2.190.000	2.500.000
smaltimenti	€/anno	7.140.000	7.140.000
man+rip	€/anno	3.900.000	7.000.000
costi diversi	€/anno	3.430.000	3.430.000
valore calore TLR	€/MWh	18,55	12,00
totale incassi	€/anno	62.572.750	173.287.447
incasso RSU	€/anno	34.000.000	34.000.000
incasso e.e. RSU	€/anno	25.512.793	42.438.563
incasso e.e GN	€/anno	0	85.861.627
incasso TLR	€/anno	3.059.957	10.987.258
utile	€/anno	23.808.168	48.017.387
utile/investimento	%	10,58	12,18
costo smalt. utile=0	€/ton	25,48	-35,04

Tab. 8.1: Bilanci economici per il termoutilizzatore convenzionale e per l'impianto integrato (TLR=teleriscaldamento; GN=gas naturale). La tariffa di smaltimento dei rifiuti è in entrambi i casi 85 Euro/tonnellata. L'elettricità prodotta da rifiuti è stata valorizzata ad un prezzo superiore a quello dell'elettricità generata da gas naturale, poiché essa può beneficiare dei certificati verdi.

La tabella 8.1 riporta i bilanci economici per il caso semplificato in cui tutto l'investimento sia finanziato dal soggetto che realizza e gestisce l'impianto. Per il termoutilizzatore convenzionale si è ipotizzato un valore del calore del teleriscaldamento tale da rendere indifferente alla cogenerazione il bilancio economico, ovvero il valore che fa sì che il costo di smaltimento dei rifiuti per il termoutilizzatore che produce solo elettricità sia lo stesso del costo di smaltimento del termoutilizzatore che cogenera elettricità e calore. Tale valore risulta di 18,55 Euro/MWh termico. Per l'impianto integrato si è assunto conservativamente un valore del calore inferiore – 12 Euro/MWh termico – più vicino a quanto oggi percepito dai soggetti che alimentano grandi reti di teleriscaldamento come ad esempio quelle di Torino o Brescia. Ciononostante, l'impianto integrato presenta un bilancio economico decisamente più interessante (vedi tabella 8.1 e figura 8.2):

- a parità di tariffa di smaltimento dei rifiuti di 85 Euro/ton il rapporto utile/investimento sale dal 10.6% circa a oltre il 12%;
- per l'impianto integrato, la tariffa di smaltimento che porta al pareggio dei costi (utile nullo) è negativa, a significare che l'impianto realizzerebbe un utile anche con tariffa di smaltimento nulla; nel caso del termoutilizzatore convenzionale, la tariffa di smaltimento che porta al pareggio dei costi (utile nullo) è invece positiva, pari a 25,5 Euro/tonnellata.

I costi specifici sopra riportati possono subire variazioni con le condizioni di finanziamento, le quali tuttavia non possono comunque alterare la netta superiorità della soluzione integrata rispetto a quella convenzionale.

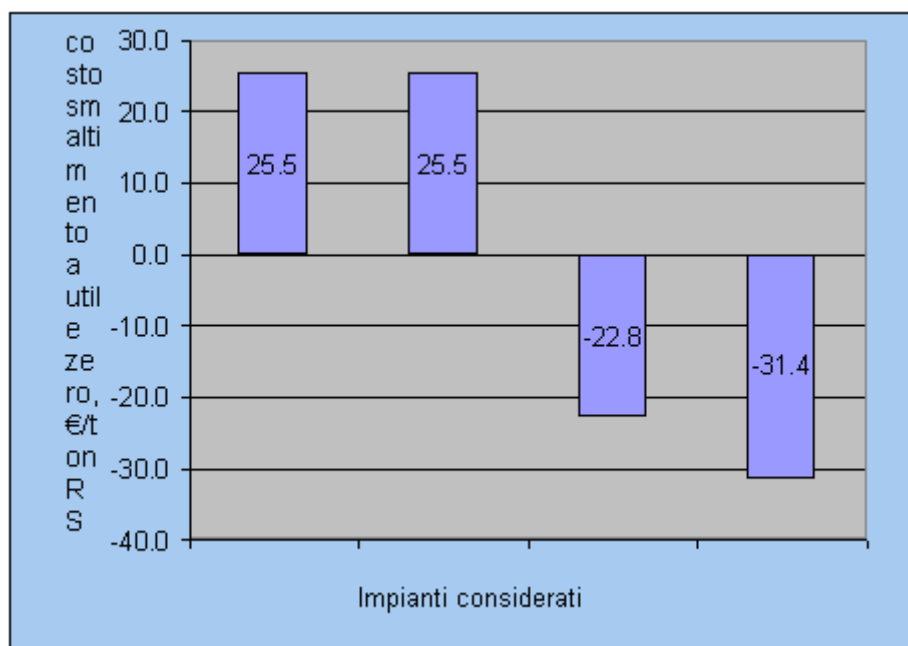


Fig. 8.2: Costi di investimento previsti per il termoutilizzatore convenzionale (a sinistra, il ciclo combinato e l'impianto integrato).

9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'integrazione di un termoutilizzatore a griglia con un ciclo combinato di grande taglia alimentato a gas naturale permette di conseguire eccezionali prestazioni energetiche, ambientali ed economiche.

La potenza netta esportabile alla rete elettrica passa da circa 50 MW a oltre 440 MW, con un fabbisogno di gas naturale di circa 440 milioni di metri cubi/anno. La superiore razionalità della configurazione integrata consente di generare circa 19 MW in più di quanto potrebbero generare i due impianti separati, portando la produzione specifica da rifiuti ben oltre i 1100 kWh per tonnellata, un valore assolutamente ineguagliato da qualsiasi termoutilizzatore di RSU esistente.

Nel caso in cui l'impianto integrato, come peraltro già previsto per il termoutilizzatore convenzionale, alimenti una grande rete di teleriscaldamento urbano, le emissioni evitate di ossidi di azoto da riscaldamento più che compensano le emissioni della turbina a gas, così da comportare una riduzione di tali emissioni nell'area interessata. Le emissioni delle altre specie rimangono inalterate rispetto al caso del termoutilizzatore convenzionale, con il vantaggio tuttavia di ridurre la ricaduta al suolo grazie al trascinamento del pennacchio da parte dei fumi generati dalla turbina a gas.

Rispetto al termoutilizzatore convenzionale l'investimento complessivo aumenta da circa 225 a 395 milioni di Euro, generando tuttavia una drastica riduzione dei costi smaltimento grazie al reddito generato dalla produzione di elettricità. Nel caso semplificato in cui tutto l'investimento sia finanziato dal soggetto che realizza e gestisce l'impianto, la tariffa di smaltimento che annulla l'utile (ovvero i ricavi uguagliano i costi di gestione e l'ammortamento) è addirittura negativa, ovvero l'impianto integrato realizza utile anche con tariffa di smaltimento nulla.

La rilevanza di queste caratteristiche è tale che, se realizzato, questa tipologia di impianto potrà diventare una prova concreta della capacità di realizzare sistemi di avanguardia che coniugano economicità e affidabilità con il rispetto dell'ambiente ed il risparmio energetico.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Beone G. and Merli F. (1995), "Survey of incineration plants in Italy" (in Italian), Proc. meeting on *Waste Incineration (Bologna, mar. 16-17, 1995)*, pp. 63-73. Maggioli publisher, Bologna, Italy.
- [2] Chiesa P., Consonni S., Lozza G. and Macchi E. (1993), "Predicting the ultimate performance of advanced power cycles based on very high temperature gas turbine engines", ASME paper 93-GT-223.
- [3] Consonni S. (1992), "Performance Prediction of Gas/Steam Cycles for Power Generation", Ph.D. Thesis No. 1893-T, Mechanical and Aerospace Engineering Dept., Princeton University, Princeton, NJ, USA.
- [4] Consonni S. (2000), "Tecniche correnti e avanzate per il recupero di energia", in *La termodistruzione del rifiuto urbano: recupero energetico ed emissioni*", pp. 47-80, edizioni Hyper, Venezia [pubblicato in occasione del 18° *SEP Pollution*, Padova, marzo 2000].
- [5] Consonni S. e Silva P. (2007) "Off-design performance of integrated waste-to-energy, combined cycle plants", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 27, pp. 712-721, Elsevier press (presented at the ASME-ATI meeting on "Energy: production, distribution and conservation", Milan, 15-16 May 2006).
- [6] Consonni S., Ferrari M. e Greco T. (2000), "Impianti ibridi RSU/combustibile fossile. Configurazioni e prestazioni", *La Termotecnica*, dic. 2000, pp. 77-85.
- [7] Consonni S. (2000), "Combined Cycles for High Performance, Low Cost, Low Environmental Impact, Waste-to-Energy Systems", ASME paper 2000-GT-24.
- [8] CREED (1995 and 1996), "Characteristics of the MSW collected in the city of Piacenza" (in French), report prepared for ASM Piacenza by CREED, research centre of Vivendi, Paris.
- [9] Dionisio S. (1995), "Waste Production" (in Italian), Proc. special course on Waste Engineering, Vol. I, pp. 15-32. Politecnico di Milano, Dept. of Hydraulic and Environmental Engineering.
- [10] De Stasio F. (1996), "Advanced Cycles for the Production of Electricity from MSW" (in Italian), Graduation Thesis (advisor S. Consonni), Politecnico di Milano, Milan.
- [11] ENEL (1999), "Statistical data on electricity in Italy. 1998" (in Italian), ENEL Corporate, Rome.
- [12] Lozza G. (1990), "Bottoming Steam Cycles for Combined Gas-steam Power Plants: a Theoretical Estimation of Steam Turbine Performance and Cycle Analysis", Proc. 1990 ASME Cogen-Turbo, (New Orleans, Louisiana), pp. 83-92.
- [13] Rifiuti Solidi, (1995), "Recent data on waste production" (in Italian), issue 1/95, p. 66. Published by CIPA, Milan.
- [14] Thermostelect (1996), "Energy and Raw Material Recovery", collection of company publications, Thermostelect, Karlsruhe, Germany.