



Saint Christophe,
Prot. N.

All'Assessore regionale al Territorio e Ambiente
Ing. Manuela Zublena
Regione Autonoma Valle d'Aosta
Via Promis 2
11100 - Aosta

Al Prof. Michele Giugliano
DIAR – Sezione Ambientale
Politecnico di Milano
Piazza L. da Vinci, 32
20133 - Milano

OGGETTO: studio comparativo fra i sistemi di trattamento e smaltimento dei rifiuti in Valle d'Aosta - integrazione alla relazione ARPA prot. n. 3410 del 09/04/2009 in riferimento alle osservazioni del Prof. Giugliano ricevute via mail in data 17/04/2009

Con la presente si trasmette una relazione tecnica relativa a quanto in oggetto.

A disposizione per ogni ulteriore chiarimento, si inviano i migliori saluti.

Il Direttore Generale
Dott. Giovanni Agnesod

Saint Christophe, 08/06/2009

Definizione dei flussi di inquinanti atmosferici dell'attività di termovalorizzazione dei rifiuti e valutazione degli impatti con la tecnica del ciclo di vita

Osservazioni integrative al documento ARPA prot. n. 3410 del 09/04/2009

1. Premessa

La presente relazione viene redatta ad integrazione della precedente prot. n. 3410 del 09/04/2009, con riferimento alle osservazioni del Prof. Giugliano contenute nella nota ricevuta via mail in data 17/04/09.

Si sottolinea in via generale che il documento ARPA 3410 del 09/04/2009 non intende costituire un rifacimento dell'analisi LCA dello Studio Comparativo. Il suo obiettivo è aggiungere all'analisi LCA elementi di contestualizzazione alla scala locale, esplicitando la localizzazione delle fonti di impatto e ponendo in evidenza due aspetti:

- la necessità di considerare una scala di influenza locale per gli impatti sulla tossicità umana;
- la necessità di utilizzare, con particolare riferimento agli aspetti energetici, i dati che caratterizzano la realtà territoriale specifica in cui si inserisce il sistema in esame, e la loro influenza critica sulla valutazione comparativa degli impatti.

A partire dai dati caratterizzanti la realtà territoriale specifica, nel presente documento viene inoltre effettuata una rivalutazione dell'impatto sulla tossicità umana, assumendo un confine del sistema globale, come nello Studio Comparativo. L'esercizio di calcolo mostra che, anche mantenendo un confine del sistema globale, l'introduzione di condizioni che tengono conto delle caratteristiche specifiche territoriali locali portano a variazioni significative nel bilancio complessivo degli impatti. L'introduzione di elementi territoriali/locali nelle procedure di analisi LCA è attualmente oggetto di viva attenzione da parte degli esperti del settore, in risposta all'esigenza di calare i risultati complessivi degli studi LCA su scala globale alla realtà del contesto di interesse.

2. Scala di influenza degli impatti ed elementi di caratterizzazione territoriale nell'analisi LCA

La localizzazione delle fonti di impatto e le condizioni ambientali in cui le singole fonti si inseriscono sono aspetti che non vengono normalmente presi in considerazione negli studi LCA. Negli studi LCA l'ambiente è rappresentato come un'entità standard con caratteristiche generiche in cui le ricadute e gli impatti delle sostanze rilasciate dalle varie fonti vengono considerate in maniera semplificata¹.

Questo approccio comporta che, in alcuni casi, i risultati di uno studio LCA differiscono notevolmente dai reali livelli di impatto delle sostanze emesse dalle singole fonti.

¹ J. Potting, M. Hauschild - "Spatial Differentiation in LCA – a decade of method development to increase the environmental realism of LCIA" - The International Journal of Life Cycle Assessment - Volume 11, Supplement 1 - January, 2006

Prendiamo, ad esempio, l'impatto dovuto alle sostanze tossiche emesse dal camino di un inceneritore situato nella piana di fondo valle della Valle d'Aosta. Le sostanze coinvolte sono principalmente metalli pesanti, IPA, diossine e furani. Sulla base della simulazione modellistica condotta dall'ARPA tali sostanze ricadono totalmente nel territorio di fondo valle, nel raggio di poche decine di km dalla fonte di emissione. Considerando il periodo temporale assunto a riferimento nello studio (25 anni), e tenendo conto della conformazione del territorio e del microclima, caratterizzato da fenomeni di inversione termica, si può assumere che, nel periodo considerato, le sostanze tossiche emesse dall'inceneritore possano avere un'influenza principalmente legata all'accumulo al suolo nel territorio circostante il punto di emissione. Tale assunzione trova pieno riscontro nelle ipotesi, seppur conservative, prese a riferimento nello studio di approfondimento, condotto dall'Istituto Mario Negri, relativo agli impatti sanitari. Pertanto si ritiene che in questo caso la scala di influenza della fonte di impatto considerata debba essere locale. Appare, viceversa, poco realistico assumere un'influenza su scala globale (ad esempio sul territorio nazionale) delle emissioni di sostanze tossiche da parte di un eventuale inceneritore in Valle d'Aosta.

L'attribuzione di una scala di influenza alle categorie di impatto è una pratica adottata anche nelle analisi LCA. Secondo le linee guida LCA pubblicate dall'EPA ("LCA: principles and practice" – maggio 2006), la selezione della categoria di impatto è il primo step dell'LCIA (Life Cycle Impact Assessment) ed è parte integrante della definizione iniziale dell'obiettivo dell'intero studio LCA. Nel documento citato le varie categorie di impatto vengono espressamente classificate in base alla scala di influenza in impatti globali, regionali e locali, secondo lo schema della Figura 1 seguente.

Figura 1 – Classificazione delle diverse categorie di impatto secondo il documento EPA "LCA: principles and practice" – maggio 2006

Impact Categories and Associated Endpoints

The following is a list of several impact categories and endpoints that identify the impacts.

Global Impacts
Global Warming - polar melt, soil moisture loss, longer seasons, forest loss/change, and change in wind and ocean patterns.
Ozone Depletion - increased ultraviolet radiation.
Resource Depletion - decreased resources for future generations.

Regional Impacts
Photochemical Smog - "smog," decreased visibility, eye irritation, respiratory tract and lung irritation, and vegetation damage.
Acidification - building corrosion, water body acidification, vegetation effects, and soil effects.

Local Impacts
Human Health - increased morbidity and mortality.
Terrestrial Toxicity - decreased production and biodiversity and decreased wildlife for hunting or viewing.
Aquatic Toxicity - decreased aquatic plant and insect production and biodiversity and decreased commercial or recreational fishing.
Eutrophication - nutrients (phosphorous and nitrogen) enter water bodies, such as lakes, estuaries and slow-moving streams, causing excessive plant growth and oxygen depletion.
Land Use - loss of terrestrial habitat for wildlife and decreased landfill space.
Water Use - loss of available water from groundwater and surface water sources.

In realtà, nelle linee guida EPA viene specificato come, al di là della classificazione sopra riportata, la definizione della scala di influenza della categoria di impatto sia strettamente connessa all'obiettivo dell'analisi LCA. Ad esempio, nella tabella 4-1 delle stesse Linee Guida (riportata nell'Allegato 1 al presente documento), per quanto riguarda l'impatto sulla salute umana, viene indicato che per il rilascio totale di sostanze tossiche nell'aria, nell'acqua e nel suolo, la scala di influenza può essere globale/regionale/locale.

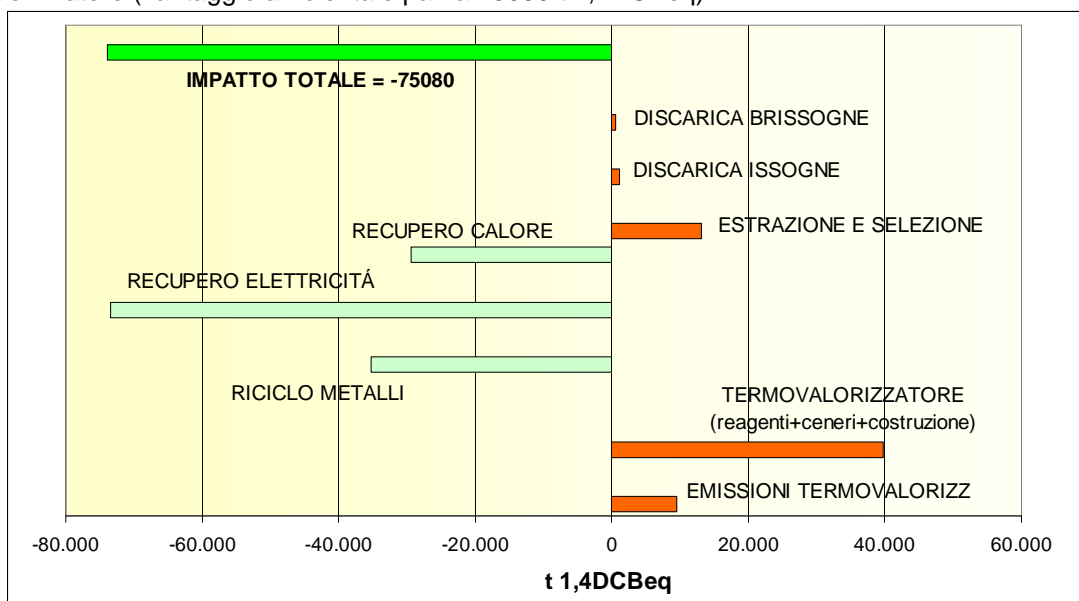
Questa indicazione si può interpretare con l'esempio seguente: se l'obiettivo dello studio è dare informazioni per un indirizzo nella gestione dei rifiuti a livello nazionale, può essere sicuramente idoneo considerare l'impatto sulla tossicità umana a livello globale e mettere sullo stesso piano le emissioni di un inceneritore e le emissioni di una centrale termoelettrica a combustibile fossile entrambi presenti nel territorio nazionale.

Nel caso dello studio comparativo, invece, l'obiettivo è quello di dare informazioni all'amministrazione regionale per la scelta di un sistema di gestione dei rifiuti in riferimento alla particolare situazione locale. A tale proposito si evidenzia che le conclusioni dell'analisi LCA risultano determinanti nello studio comparativo per concludere che *“lo scenario di gestione alternativo risulta ambientalmente più compatibile rispetto allo scenario di gestione previsto dal Piano Regionale”* (pag. 57 della relazione finale Ziviani-Genon di gennaio 2009).

Una caratteristica fondamentale della realtà territoriale della Valle d'Aosta, di interesse per l'analisi LCA in questione, è costituita dal fatto che nel contesto locale non sono presenti centrali termoelettriche a combustibile fossile e la produzione idroelettrica supera di gran lunga il fabbisogno regionale.

Considerando i risultati dello studio LCA per lo scenario del termovalorizzatore (Figura 2), appare evidente che le emissioni evitate attraverso la produzione di elettricità dal termovalorizzatore hanno un ruolo fondamentale in quanto comportano un impatto evitato di circa 75000 t 1,4DCBeq.

Figura 2 – Risultati dello studio comparativo per l'impatto di tossicità umana per lo scenario del termovalorizzatore (vantaggio ambientale pari a 75080 t 1,4DCBeq)



Senza tale contributo l'impatto totale dello scenario del termovalorizzatore risulterebbe prossimo a zero e quindi le conclusioni dello studio cambierebbero radicalmente.

Su questa base, l'interpretazione del risultato numerico dice che la realizzazione di un termovalorizzatore in Valle d'Aosta risulta ambientalmente vantaggiosa in quanto si evita il rilascio nell'ambiente di sostanze tossiche emesse da centrali termoelettriche presenti al di fuori del territorio regionale.

In tal senso, mettere sullo stesso piano le emissioni di un inceneritore in Valle d'Aosta con quelle di centrali termoelettriche fuori regione, porta a conclusioni che non tengono conto degli effettivi impatti sul territorio delle due diverse fonti di emissione.

2.1. Spatial differentiation in LCA

Il tema della "spatial differentiation" negli studi LCA è oggetto di confronto e di viva discussione nell'ambito della comunità scientifica. Secondo alcuni studiosi del settore², per poter ottenere risultati che trovino un effettivo riscontro nella realtà, in alcuni casi è necessario introdurre nell'analisi LCA importanti elementi di caratterizzazione regionale/locale.

Riferimenti all'opportunità di interpretare i risultati degli studi LCA tenendo conto degli effettivi impatti sul territorio locale delle diverse fonti, vengono riportati nelle linee guida LCA dell'EPA (in particolare nel paragrafo "Geographic Specificity") e nelle linee guida della Leiden University (in particolare nel paragrafo "Limitation of LCA").

A tale proposito, al meeting europeo annuale organizzato dal SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry - www.setac.org) che si è appena concluso (Goteborg 31/05/09 - 04/06/09), una apposita sessione è stata dedicata al tema della regionalizzazione dell'LCA. Si riporta di seguito un riassunto degli aspetti affrontati in questa sessione. Viene rilevata, in particolare, la necessità di introdurre elementi caratteristici del contesto regionale nella valutazione di categorie di impatto non globali come ad esempio la tossicità umana, tenendo conto di aspetti quali ad esempio la produzione di energia nel contesto locale.

LC06 - Regionalisation in LCA - managing global life cycle and regional needs

Suggested chairs: Ralph Rosenbaum (CIRAIG, Ecole Polytechnique de Montreal, MONTREAL, Canada) and Rosalie van Zelm (Radboud University, NIJMEGEN, The Netherlands)

With the spread of LCA and Life Cycle Thinking (LCT) into new geographies, the topic of regionalization is timely and increasingly important. It might reduce uncertainties and increase the relevance and interpretability of LCA results, while on the other hand inflating data demand and complexity of a study. On the inventory (LCI) side, regionally variable aspects such as energy production or end-of-life options are issues which might call for regionalisation. From the impact assessment (LCIA) perspective, a need for regionally differentiated characterisation can be demonstrated for non-global impact categories, such as land use, human and eco-toxicity, acidification, or eutrophication. Questions between LCI and LCIA emerge in terms of data availability, consistency, practicability, and implementation into LCA software: This session is intended to be a broad exchange forum providing an overview and technical insights of ongoing research related to regionalisation in LCA. It aims to bring together experts in LCI and LCIA as well as LCA practitioners to improve the linkage between inventory, impact assessment and applicability around regionalisation. A global SETAC LCA Working Group recently has been formed on this topic and will provide important input for the session.

² J. Potting, M. Hauschild - "Spatial Differentiation in LCA – a decade of method development to increase the environmental realism of LCIA" - The International Journal of Life Cycle Assessment - Volume 11, Supplement 1 - January, 2006

3. Valutazione delle emissioni evitate di tossicità equivalente per recupero energetico sulla base della realtà territoriale specifica

È già stato sottolineato, in precedenza, come nei bilanci ambientali dello studio LCA le emissioni evitate per i recuperi energetici del termovalorizzatore assumano un ruolo fondamentale.

La valutazione di tali emissioni è vincolata all'assunzione di determinate condizioni, a discrezione di chi conduce lo studio, in merito al funzionamento degli impianti e alle fonti di dati prese a riferimento.

Nel presente paragrafo si intende mettere in evidenza quanto sia ampio l'ambito di discrezionalità nella scelta delle ipotesi e dei dati di riferimento, e come possa, di conseguenza, variare la valutazione dei contributi delle emissioni evitate nei bilanci ambientali.

3.1. Fonti di dati utilizzate per il calcolo

Per quanto riguarda la produzione di energia elettrica, nello studio comparativo tali emissioni vengono calcolate utilizzando dati di letteratura relativi alle centrali termoelettriche secondo la distribuzione del parco termoelettrico nazionale.

Nella tabella 2.23 di pag. 36 dello studio comparativo sono riportati i fattori di emissione di tossicità equivalente per tonnellata di rifiuto incenerito. Nel caso dello scenario del termovalorizzatore, ad esempio:

- emissioni del termovalorizzatore = 4,63 kg 1,4DCBeq/t;
- emissioni evitate per produzione elettricità (mix termoelettrico Italia 2004) = 35,36 kg 1,4DCBeq/t.

Questi valori dicono che le emissioni delle centrali termoelettriche risultano molto più impattanti (oltre 7 volte di più) di quelle dell'incenerimento dei rifiuti.

A tale proposito occorre considerare che il fattore di emissione delle centrali termoelettriche comprende anche *“una serie di componenti secondarie associate al ciclo di vita del combustibile fossile, comprendente l'estrazione, la raffinazione, i trasporti e la distribuzione alle utenze”* (studio comparativo - pag. 19).

Nello studio non vengono tuttavia riportati i valori delle due componenti: primaria (associata alle emissioni a camino) e secondaria, e non è stato possibile risalire alla fonte di dati utilizzata per la stima delle due componenti.

Per determinare in prima approssimazione la componente primaria del fattore di emissione delle centrali termoelettriche, si assume a riferimento la banca dati APAT-Sinanet (www.inventaria.sinanet.apat.it), che costituisce un riferimento riconosciuto a livello nazionale e comunemente adottato per la redazione degli inventari delle emissioni.

Il fattore di emissione della componente primaria per la produzione di energia termoelettrica risulta pari a 22,89 kg 1,4DCBeq/GJ (il procedimento di calcolo è riportato nell'Allegato 3 alla presente relazione).

Il valore così calcolato è riferito alla quantità di energia elettrica recuperata dal termovalorizzatore. È possibile convertirlo in riferimento alla quantità di rifiuto incenerito, mediante il calcolo seguente. Dalla termovalorizzazione di 1 tonnellata di rifiuto avente PCI = 10700 kJ/kg = 10,7 GJ/t (valore riportato nella tabella 2.1 di pag. 13 dello studio comparativo), considerando un rendimento elettrico medio annuo pari a 11,5% (valore riportato nella tabella 2.6 di pag. 19 dello studio comparativo), l'energia elettrica recuperata risulta pari a:

$$1t * PCI * \eta_e = 1t * 10,7 \text{ GJ/t} * 0,115 = 1,23 \text{ GJ/t.}$$

Pertanto l'incenerimento di 1 tonnellata di rifiuti produce 1,23 GJ di energia elettrica.

Il fattore di emissione di tossicità equivalente riferito alla quantità di rifiuti avviati al termovalorizzatore, risulta perciò pari a:

$$(22,89 \text{ kg } 1,4\text{DCBeq/GJ}) * 1,23 \text{ GJ/t} = 28,15 \text{ kg } 1,4\text{DCBeq/t.}$$

Il valore così ottenuto rappresenta il fattore di emissione della componente primaria delle emissioni evitate per recupero di energia elettrica, ovvero il fattore di emissione delle centrali termoelettriche secondo il mix termoelettrico italiano del 2004.

Confrontando i fattori di emissione primaria di impianti di incenerimento rifiuti (4,63 kg 1,4DCBeq/t) e delle centrali termoelettriche (28,15 kg 1,4DCBeq/t), si osserva comunque una notevole differenza tra i due valori, che potrebbe essere ricondotta, in generale, al fatto che gli impianti di incenerimento sono soggetti a limiti normativi più restrittivi rispetto alle centrali termoelettriche a combustibile fossile e di conseguenza sono dotati di sistemi di abbattimento più complessi ed efficienti.

Proviamo ora a calcolare, adottando lo stesso metodo di calcolo utilizzato per le centrali termoelettriche e facendo ricorso alla stessa banca dati APAT-Sinanet³, il fattore di emissione di tossicità equivalente per l'incenerimento dei rifiuti solidi urbani. Dal calcolo, riportato in Tabella 1, si ottiene un fattore di emissione pari a 675,18 kg 1,4DCBeq/t.

Tabella 1 – Calcolo del fattore complessivo di tossicità equivalente delle emissioni da incenerimento rifiuti urbani da banca dati APAT-Sinanet

<i>Inquinante</i>	<i>Fattore di emissione APAT Sinanet</i>	<i>Potenziale di tossicità equivalente HTP</i>	<i>Fattore di emissione in tossicità equivalente</i>
	<i>g/t</i>	<i>kg 1,4 DCBeq/kg</i>	<i>kg 1,4 DCBeq/t</i>
As	0,05	350.000	17,50
Cd	0,25	150.000	37,50
Cr	0,45	650	0,293
Cu	1,00	4.300	4,30
Diossina	0,000006	1.900.000.000	11,40
Hg	0,15	6.000	0,90
IPA	0,05	570.000	28,50
NOx	1.150	1,2	1,38
Ni	16,35	35.000	572,25
Pb	1,35	470	0,635
PM10	46	0,82	0,038
Se	0,01	48.000	0,48
Zn	0,02	100	0,002
TOTALE			675,18

Pertanto, per l'incenerimento dei rifiuti, il fattore di emissione di tossicità equivalente calcolato con dati di letteratura (675,18 kg 1,4DCBeq/t) risulta circa 150 volte più elevato rispetto al fattore calcolato con dati misurati (4,63 kg 1,4DCBeq/t).

È ragionevole supporre che una notevole differenza tra dati di letteratura e valori misurati possa sussistere anche per le emissioni delle centrali termoelettriche a combustibili fossili. Non si hanno tuttavia a disposizione dati misurati di emissione per le centrali termoelettriche per poter effettuare un effettivo confronto tra le due fonti di dati.

È possibile, tuttavia, trovare un riscontro a questa ipotesi nelle Linee Guida IPPC per gli impianti di incenerimento dei rifiuti (D.Min.Amb.29/1/2007). Nel paragrafo C.5.1.2: "I risvolti ambientali del recupero energetico", viene messo in evidenza che il recupero energetico dei rifiuti porta ad un

³ Macrosettore - Trattamento e smaltimento rifiuti; Settore - Incenerimento di rifiuti solidi; Attività - Incenerimento di rifiuti solidi urbani

vantaggio ambientale per via delle emissioni evitate legate alla sostituzione dell'energia prodotta dalle centrali termoelettriche alimentate a combustibili fossili. In particolare viene indicato che è possibile conseguire dei vantaggi ambientali per i macroinquinanti tipici della combustione (polveri, SO₂ e, in misura minore il CO), mentre, per quanto riguarda gli NO_x, il confronto con le centrali termoelettriche risulta sfavorevole al recupero dei rifiuti. Per quanto riguarda gli altri inquinanti, viene espressamente indicato che “non risulta possibile effettuare un confronto realistico anche per i microinquinanti a causa della carenza di dati sistematici in materia; una stima effettuata sulla base dei limiti normativi vigenti potrebbe risultare fuorviante, data la notevole differenza dei valori di riferimento per le due tipologie di impianto” (nota 1 di pagina 20 del documento in questione).

Sulla base di tutti gli elementi riportati nel presente paragrafo emerge che il calcolo ed il successivo confronto delle emissioni di tossicità equivalente di impianti di incenerimento dei rifiuti e di centrali termoelettriche a combustibile fossile, debba essere oggetto di adeguata ponderazione delle fonti di dati adottati, tenendo conto delle notevoli differenze che possono sussistere tra dati di letteratura e dati misurati.

L'utilizzo di fonti di dati tra loro incongruenti può influire in misura decisiva nei bilanci ambientali dello studio LCA. Una conferma evidente si può avere, ad esempio, provando a ricalcolare (per puro esercizio dimostrativo) il bilancio di tossicità equivalente dello scenario del termovalorizzatore adottando per le emissioni della fase di incenerimento il fattore di emissione calcolato secondo la banca dati APAT-Sinanet (pari a 675,18 kg 1,4DCBeq/t), al posto del fattore di emissione calcolato con dati misurati (pari a 4,63 kg 1,4DCBeq/t). I risultati del calcolo sono riportati nella seguente Tabella 2.

Tabella 2 – Confronto di calcolo dei bilanci ambientali di tossicità equivalente con utilizzo di dati misurati e dati di letteratura per le emissioni del termovalorizzatore

	Valori calcolati con dati di emissione misurati per la termovalorizzazione dei rifiuti (studio comparativo)		Valori calcolati con dati di emissione da banca dati APAT-Sinanet per la termovalorizzazione dei rifiuti	
	Emissioni del termovalorizzatore	Bilancio complessivo di tossicità equivalente	Emissioni del termovalorizzatore	Bilancio complessivo di tossicità equivalente
	t 1,4 DCBeq	t 1,4 DCBeq	t 1,4 DCBeq	t 1,4 DCBeq
Scenario del Termovalorizzatore	9.607	-75.080	1.400.914	+1.316.227
Scenario del Piano Regionale	2.229	-17.159	325.065	+305.677

3.2. Rendimenti energetici del termovalorizzatore

Per una valutazione quanto più realistica dei recuperi energetici è sicuramente opportuno fare riferimento alle stime condotte dall'ing. Ziviani (documento BIII - paragrafi 3.3 e 3.4), che ha curato gli aspetti impiantistici e di processo del termovalorizzatore nello studio comparativo.

Il calore recuperato alimenterà un generatore di vapore e viene stimata una produzione di vapore pari a 37 t/h a 65 bar e 430°C.

In prima istanza, nell'ipotesi che tutto il vapore prodotto sia destinato alla produzione di energia elettrica, è prevista una produzione di 7,75 MW a fronte dei 31 MW di carico termico dei rifiuti in ingresso.

Viene tuttavia indicato che, in realtà, sarà previsto un ciclo in assetto cogenerativo con sistema a spillamento che è ritenuto più flessibile rispetto al ciclo a contropressione in quanto permette nei periodi autunnale e invernale un prelievo modulato di vapore da avviare ad un impianto di teleriscaldamento.

In tal caso viene indicato che sarà possibile destinare fino al 60% del vapore prodotto al teleriscaldamento.

Per valutare, in prima approssimazione, le quantità di energia elettrica e termica recuperabili, ipotizziamo che il sistema venga progettato idealmente per funzionare:

- nel periodo autunnale-invernale, in assetto cogenerativo, con il 60% del vapore destinato al teleriscaldamento asservito a utenze termiche civili;
- nel restante periodo, per la sola produzione di energia elettrica, con il 100% del vapore prodotto destinato alla produzione di energia elettrica.

In realtà si può presumere che l'impianto venga ottimizzato per un funzionamento in assetto cogenerativo con spillamento di una certa quota di vapore, con una soluzione di compromesso tra le due situazioni limite sopra esposte.

Assumendo comunque, in prima approssimazione, lo schema di funzionamento sopra illustrato, si ottengono i seguenti valori di recupero energetico (al netto degli autoconsumi del termovalorizzatore):

- energia elettrica recuperata annualmente = 19,2% del carico termico in ingresso al termovalorizzatore;
- energia termica recuperata annualmente = 13,2% del carico termico in ingresso al termovalorizzatore.

I procedimenti di calcolo sono riportati nell'Allegato 2 al presente documento.

La resa energetica complessiva risulta pari al 32,4% del carico termico in ingresso, valore superiore al 21,4% (al netto degli autoconsumi) calcolato nel documento BIII nel caso di produzione di sola energia elettrica. Questo dato conferma come il funzionamento in assetto cogenerativo consenta di recuperare complessivamente una maggiore quantità di energia.

3.3. Fonti di produzione di energia elettrica sostituite dal termovalorizzatore

Nell'ipotesi che tutto il vapore prodotto dal termovalorizzatore venga destinato alla produzione di energia elettrica, la produzione netta risulta pari a 53200 MWh/anno = 53,2 GWh/anno (documento BIII – par. 3.4).

Questa energia elettrica viene immessa nella rete elettrica nazionale.

Nella Tabella 3 seguente vengono riportati i dati del bilancio dell'energia elettrica in Italia relativi al 2007 pubblicati da TERNA – Rete Elettrica Nazionale (www.terna.it – Dati statistici – Dati generali).

Tabella 3 – Bilancio dell'energia elettrica in Italia nel 2007 (fonte dati Terna)

Anno 2007	GWh
Produzione idrica netta	3.7962,3
Produzione termica netta	254.022,7
Produzione geotermica netta	5.242,8
Produzione eolica netta	4.032,3
Produzione fotovoltaica netta	39,0
Produzione netta totale	301.299,0

Destinata ai pompaggi	7.653,6
Produzione destinata al consumo (produzione netta – pompaggi)	293.645,5
Ricevuta da fornitori esteri	48.930,8
Ceduta a clienti esteri	2.648,1
RICHIESTA (produzione destinata al consumo – ceduta all'estero + importata dall'estero)	339.928,1

L'energia elettrica immessa in rete costituirebbe, pertanto, una frazione molto piccola (0,02%) rispetto alla produzione netta totale nazionale.

Ai fini dei bilanci ambientali, si ipotizza che l'immissione nella rete nazionale di energia elettrica prodotta da una nuova fonte vada a sostituire l'energia elettrica prodotta da altre fonti attualmente esistenti.

Per individuare il tipo di fonte che può essere sostituita si possono sicuramente escludere le fonti: idrica, geotermica, eolica e fotovoltaica, in quanto si tratta di impianti che continuerebbero a produrre energia indipendentemente dalle variazioni di richiesta energetica e di produzione da altre fonti.

Si potrebbe ipotizzare che l'energia immessa vada a sostituire parte dell'energia importata dall'estero (48.931 GWh), ad esempio dalle centrali nucleari francesi, che non provocano impatti per quanto riguarda l'emissione di sostanze inquinanti in atmosfera.

Oppure si può ipotizzare che l'energia immessa nella rete vada a sostituire quella prodotta per via termica, considerando che proviene da impianti la cui produzione viene modulata sulla base delle variazioni della richiesta della rete. Assumendo questa ipotesi, per calcolare le emissioni evitate, è necessario definire quale combustibile è all'origine della produzione dell'energia elettrica sostituita. Per questo è possibile solo fare delle ipotesi teoriche, in quanto non è realmente prevedibile quale sia la fonte realmente sostituita.

Nello studio comparativo viene ipotizzato che l'energia sostituita venga prodotta da un mix di centrali termoelettriche alimentate a combustibili fossili (gas naturale, carbone e olio combustibile) secondo i dati del parco termoelettrico italiano del 2004.

Allo stesso modo, però, si potrebbe ipotizzare che l'energia sostituita sia prodotta solo da centrali a carbone, che risulta il combustibile più inquinante; oppure solo da centrali a gas naturale, che risulta il combustibile più costoso.

La decisione risulta comunque opinabile e non è prevedibile realisticamente.

Decidere quale combustibile è all'origine della produzione dell'energia elettrica sostituita risulta fondamentale per gli esiti del bilancio ambientale complessivo di tossicità.

Se supponiamo, ad esempio, che l'energia sostituita venga prodotta solo da centrali termoelettriche alimentate a gas naturale, il corrispondente fattore di emissione di tossicità equivalente risulta pari a circa 1/3 di quello calcolato nello studio comparativo.

Nel calcolo, riportato dettagliatamente nell'Allegato 3, è stata considerata sia la componente primaria (determinata con riferimento alla banca dati APAT-Sinanet considerando solo centrali alimentate a gas naturale), che la componente secondaria (calcolata in riferimento alle stesse condizioni dello studio comparativo). I valori dei fattori di emissione nei due scenari vengono riportati in Tabella 4.

Tabella 4 – Fattori di emissione di tossicità equivalente per emissioni evitate da recupero di energia elettrica considerando due diverse tipologie di fonte sostituita (vedi Allegato 3)

	Unità di misura	<i>Elettricità mix elettrico Italia 2004 (studio comparativo)</i>	<i>Elettricità da centrali a gas naturale</i>
<i>Scenario del termovalorizzatore</i>	kg 1,4DCBeq/t	-35,38	-12,61
<i>Scenario del piano regionale</i>	kg 1,4DCBeq/t	-46,24	-16,50

3.4. Fonti di produzione di energia termica sostituite dal termovalorizzatore

Facendo riferimento a quanto già riportato nel paragrafo 2.1.1 della precedente relazione ARPA, ipotizzando, in prima approssimazione, che la rete di teleriscaldamento vada a sostituire le utenze dei comuni di Brissogne, Quart e Saint Christophe, e non considerando possibili problemi di allacciabilità alla rete di teleriscaldamento di tutte le utenze per la conformazione del territorio, risulta la seguente distribuzione dei combustibili impiegati: 57% impianti alimentati a gasolio, 29% a GPL e 14% a gas naturale. Non è presente nell'area considerata alcun impianto alimentato ad olio combustibile.

Facendo riferimento alla realtà locale, e utilizzando i dati dell'inventario regionale (nello studio comparativo non sono riportati dati di emissione per caldaie a gasolio, GPL e gas naturale), il corrispondente fattore di emissione di tossicità equivalente risulta pari a circa 1/3 rispetto a quello calcolato nello studio comparativo.

Nel calcolo, riportato dettagliatamente nell'Allegato 3, è stata considerata sia la componente primaria (determinata con riferimento al mix locale utilizzando dati dell'inventario emissioni regionali), che la componente secondaria (calcolata in riferimento alle stesse condizioni dello studio comparativo). I valori dei fattori di emissione nei due scenari vengono riportati in Tabella 5.

Tabella 5 – Fattori di emissione di tossicità equivalente per emissioni evitate da recupero di energia termica considerando due diverse tipologie di fonte sostituita (vedi Allegato 3)

	Unità di misura	<i>Calore caldaie a olio combustibile (studio comparativo)</i>	<i>Calore caldaie secondo mix locale</i>
<i>Scenario del termovalorizzatore</i>	kg 1,4DCBeq/t	-14,16	-4,04
<i>Scenario del piano regionale</i>	kg 1,4DCBeq/t	-18,52	-5,29

4. Controllo di sensibilità per il bilancio di tossicità equivalente

4.1. Ipotesi alternative prese a riferimento

Nel presente paragrafo si intende mettere in evidenza il ruolo critico di due elementi dello studio LCA: la qualità dei dati utilizzati (valori misurati/valori di letteratura) e la quantificazione dei recuperi energetici (energia elettrica e termica).

A tale scopo viene condotto un esercizio di calcolo secondo i principi del “controllo di sensibilità” previsto dalla UNI EN ISO 14044, ovvero una rideterminazione degli esiti dell’LCA utilizzando ipotesi, metodi e dati diversi.

In questo caso, diversamente rispetto da quanto fatto nella precedente relazione, si considera un confine del sistema globale come nello studio comparativo.

L’esercizio mira a dare evidenza numerica al peso decisivo che possono avere i due elementi citati nel bilancio di tossicità equivalente.

Le ipotesi alternative rispetto allo studio comparativo prese a riferimento per il controllo sensibilità sono riportate nella Tabella 6 seguente.

Nei paragrafi successivi vengono calcolati i contributi dei singoli elementi considerati assumendo tali ipotesi alternative.

Tabella 6 – Ipotesi assunte a riferimento per il controllo di sensibilità

<i>Elemento dello studio</i>	<i>Scenario</i>	<i>Ipotesi nello studio comparativo</i>	<i>Ipotesi alternativa</i>	<i>Motivazione dell'ipotesi alternativa</i>
Recuperi di energia termica ed elettrica	Entrambi gli scenari	Rendimento elettrico medio annuo = 11,5% Rendimento termico medio annuo = 40,2%	Rendimento elettrico medio annuo = 13,2% Rendimento termico medio annuo = 19,2%	Si prendono a riferimento le indicazioni dello studio Ziviani mirate all’impianto specifico oggetto dello studio (doc. BIII), ipotizzando un’ottimizzazione teorica del recupero di energia
Fonti di produzione di energia elettrica sostituite dal termovalorizzatore	Entrambi gli scenari	Mix termoelettrico Italia 2004, con centrali alimentate a: gas naturale 60%, carbone 20%, olio combustibile 20%	Centrali termoelettriche a gas naturale	Si ipotizza comunque la sostituzione di energia da fonti termoelettriche ma escludendo le fonti più inquinanti – olio combustibile e carbone (vedi Allegato 3)
Fonti di produzione di calore sostituite dal termovalorizzatore	Entrambi gli scenari	Caldaie ad olio combustibile	Mix locale con impianti alimentati a: 57% gasolio, 29% GPL, 14% gas naturale	Si prende a riferimento la realtà locale in cui dovrebbe essere effettivamente inserita la rete di teleriscaldamento alimentata dal termovalorizzatore
Emissioni legate alla produzione di materiali utilizzati per la costruzione del termovalorizzatore	Scenario del piano regionale	Vengono conteggiate anche tali emissioni in riferimento all’inceneritore del Gerbido (TO) non ancora esistente	Non vengono conteggiate tali emissioni	Si considera che la costruzione dell’inceneritore del Gerbido sia comunque svincolata dalla gestione dei rifiuti in Valle d’Aosta
Emissioni della fase di biostabilizzazione	Scenario del piano regionale	Vengono presi a riferimento dati di emissione da banca dati ANPA 2000	Vengono presi a riferimento dati misurati su impianti esistenti (vedi Allegato 1 alla relazione ARPA prot. n. n. 3410 del 09/04/2009)	Coerentemente con le modalità di valutazione delle emissioni della fase di incenerimento, si utilizza una fonte di dati primaria invece di dati letteratura

4.2. Emissioni evitate per la produzione di energia elettrica dal termovalorizzatore

Il contributo delle emissioni evitate viene così calcolato:

$$FE_{el} * \text{Rifiuti inceneriti} * 25 \text{ anni}$$

Dove:

- FE_{el} = fattore di emissione delle emissioni evitate per la produzione di energia elettrica (in kg 1,4DCBeq/t) – valori riportati nella Tabella 4;
- Rifiuti inceneriti = quantità di rifiuti avviati a termovalorizzazione secondo lo studio comparativo (pari a 82995 t/a per lo scenario del termovalorizzatore; pari a 19258 t/a per lo scenario del piano regionale);
- 25 anni = durata del periodo considerato.

Ad esempio, per lo scenario del termovalorizzatore nello studio comparativo, risulta:

$$-35,38 \text{ kg } 1,4\text{DCBeq/t} * 82995 \text{ t/anno} * 25 \text{ anni} = -73409 \text{ t } 1,4\text{DCBeq.}$$

Nella successiva Tabella 7 vengono riportati i contributi calcolati per entrambi gli scenari rispettivamente nello studio comparativo e con le ipotesi alternative predette.

Tabella 7 – Emissioni evitate di tossicità equivalente per recupero di energia elettrica dal termovalorizzatore

	Unità di misura	Studio comparativo - Elettricità mix elettrico Italia 2004	Ipotesi alternativa - Elettricità da centrali a gas naturale
Scenario del termovalorizzatore	t 1,4DCBeq	-73409	-26164
Scenario del piano regionale	t 1,4DCBeq	-22262	-7944

4.3. Emissioni evitate per la produzione di energia termica dal termovalorizzatore

Il contributo delle emissioni evitate viene così calcolato:

$$FE_{cal} * \text{Rifiuti inceneriti} * 25 \text{ anni}$$

Dove:

- FE_{cal} = fattore di emissione delle emissioni evitate per la produzione di energia termica (in kg 1,4DCBeq/t) – valori riportati nella Tabella 5;
- Rifiuti inceneriti = quantità di rifiuti avviati a termovalorizzazione secondo lo studio comparativo (pari a 82995 t/a per lo scenario del termovalorizzatore; pari a 19258 t/a per lo scenario del piano regionale);
- 25 anni = durata del periodo considerato.

Ad esempio, per lo scenario del termovalorizzatore, nello studio comparativo risulta:

$$-14,16 \text{ kg } 1,4\text{DCBeq/t} * 82995 \text{ t/anno} * 25 \text{ anni} = -29380 \text{ t } 1,4\text{DCBeq.}$$

Nella successiva Tabella 8 vengono riportati i contributi calcolati entrambi gli scenari rispettivamente nello studio comparativo e con le ipotesi alternative predette.

Tabella 8 – Emissioni evitate di tossicità equivalente per recupero di energia termica dal termovalorizzatore

	Unità di misura	Studio comparativo - Calore caldaie a olio combustibile	Ipotesi alternativa - Calore caldaie secondo mix locale
Scenario del termovalorizzatore	t 1,4DCBeq	-29380	-8382
Scenario del piano regionale	t 1,4DCBeq	-8916	-2547

4.4. Emissioni secondarie del termovalorizzatore nello scenario del piano regionale

Nello studio comparativo i fattori di emissione delle componenti secondarie della fase di termovalorizzazione nello scenario regionale sono i seguenti (tabella 2.24 di pag. 36 dello studio):

- reagenti = 3,2 kg 1,4DCBeq/t;
- inertizzazione ceneri leggere = 0,95 kg 1,4DCBeq/t;
- costruzione dell'impianto = 15 kg 1,4DCBeq/t.

La somma di tali componenti dà il fattore di emissione complessivo della componente secondaria e risulta pari a 19,15 kg 1,4DCBeq/t.

Pertanto, nello studio comparativo, il contributo delle emissioni secondarie provocate dal termovalorizzatore nello scenario del piano regionale è pari a:

$$19,15 \text{ kg } 1,4\text{DCBeq/t} * 19258 \text{ t/anno} * 25 \text{ anni} = 9220 \text{ t } 1,4\text{DCBeq.}$$

Nell'ipotesi alternativa, invece, non considerando le emissioni legate alla costruzione dell'impianto, il contributo risulta pari a:

$$(3,2+0,95) \text{ kg } 1,4\text{DCBeq/t} * 19258 \text{ t/anno} * 25 \text{ anni} = 1998 \text{ t } 1,4\text{DCBeq.}$$

I due valori a confronto sono riportati nella successiva Tabella 9.

Tabella 9 – Emissione secondarie di tossicità equivalente del termovalorizzatore nello scenario del piano regionale (reagenti, ceneri leggere, costruzione impianto)

	Unità di misura	Studio comparativo – considerato anche il contributo legato alla costruzione dell'impianto fuori regione	Ipotesi alternativa – non considerato il contributo legato alla costruzione dell'impianto fuori regione
Scenario del piano regionale	t 1,4DCBeq/t	9220	1998

4.5. Emissioni della fase di biostabilizzazione nello scenario del piano regionale

Anche per la fase di biostabilizzazione il fattore di emissione di tossicità equivalente comprende una componente primaria (emissioni dal camino) ed una serie di componenti secondarie (consumo elettrico, costruzione impianto).

Il fattore di emissione complessivo utilizzato nello studio può essere calcolato sulla base del dato riportato nella tabella 2.21 di pag. 34 dello studio comparativo, in cui viene indicato un contributo complessivo per la fase di biostabilizzazione pari a 296410 kg 1,4DCBeq/anno.

Considerando che vengono avviati a biostabilizzazione 20862 t/a di sottovaglio di rifiuti (fig. 2.2 di pag. 12 dello studio), il fattore di emissione risulta pari a:

$$(296410 \text{ kg } 1,4\text{DCBeq/anno}) / (20862 \text{ t/anno}) = 14,21 \text{ kg } 1,4\text{DCBeq/t.}$$

La componente primaria può essere calcolata sulla base dei dati della tabella 2.15 dello studio, ottenendo un valore pari a 6,11 kg 1,4DCBeq/t (valore calcolato nell'Allegato 1 alla precedente relazione ARPA).

Pertanto la componente secondaria è data da: $14,21 - 6,11 = 8,10 \text{ kg } 1,4\text{DCBeq/t.}$

Nell'ipotesi alternativa, la componente primaria viene valutata sulla base di dati misurati su impianti esistenti, ottenendo un valore pari a 0,89 kg 1,4DCBeq/t (Allegato 1 alla precedente relazione ARPA). Sommando a questo valore la componente secondaria calcolata in precedenza, si ottiene un fattore di emissione pari a: $0,89 + 8,10 = 8,99 \text{ kg } 1,4\text{DCBeq/t.}$

In definitiva, il contributo complessivo nei 25 anni della fase di biostabilizzazione nel caso dello studio comparativo risulta pari a: $296,41 \text{ t } 1,4\text{DCBeq/anno} * 25 \text{ anni} = 7410 \text{ t } 1,4\text{DCBeq.}$

Nel caso dell'ipotesi alternativa, invece, risulta pari a: $8,99 \text{ kg } 1,4\text{DCBeq/t} * 20862 \text{ t/a} * 25 \text{ anni} = 4687 \text{ t } 1,4\text{DCBeq}$.

I due valori a confronto sono riportati nella successiva Tabella 10.

Tabella 10 – Emissione di tossicità equivalente della fase di biostabilizzazione nello scenario del piano regionale

	Unità di misura	Studio comparativo – utilizzo di banche dati per valutare le emissioni primarie	Ipotesi alternativa – utilizzo di dati misurati su impianti esistenti per valutare le emissioni primarie
Scenario del piano regionale	t 1,4DCBeq	7410	4687

4.6. Risultati dell'esercizio di calcolo dei bilanci totali di tossicità equivalente con le ipotesi alternative del paragrafo 4.1

I bilanci complessivi con le ipotesi alternative vengono determinati sostituendo i contributi calcolati nello studio comparativo con quelli ricalcolati nei paragrafi precedenti (dal 4.2 al 4.5).

Il risultato del calcolo, riportato nella Tabella 11 seguente, dimostra come assumendo le ipotesi alternative i bilanci complessivi dei due scenari risultino confrontabili.

Nelle Figure 3 e 4 vengono rappresentati in forma grafica i risultati dell'esercizio di controllo di sensibilità.

Si sottolinea che l'esercizio di calcolo qui condotto mira unicamente ad evidenziare come, assumendo ipotesi e fonti di dati alternative a quelle dello studio comparativo, ma comunque di pari validità, i risultati dell'analisi LCA possono cambiare radicalmente.

Tabella 11 – Esercizio di controllo di sensibilità: confronto dei bilanci complessivi di tossicità equivalente ottenuti nello studio comparativo e dei bilanci ottenuti con le ipotesi alternative di cui al paragrafo 4.1. Con le ipotesi alternative gli impatti complessivi dei due scenari risultano confrontabili tra loro

	Unità di misura	Studio comparativo	Ipotesi alternative (paragrafo 4.1 - Tabella 6)
Scenario del termovalorizzatore	t 1,4DCBeq	-75080	-6827
Scenario del piano regionale	t 1,4DCBeq	-17159	-6507

Figura 3 – Risultato dell'esercizio di controllo di sensibilità per l'impatto di tossicità equivalente per lo scenario del termovalorizzatore (vantaggio ambientale pari a 6827 t 1,4DCBeq)

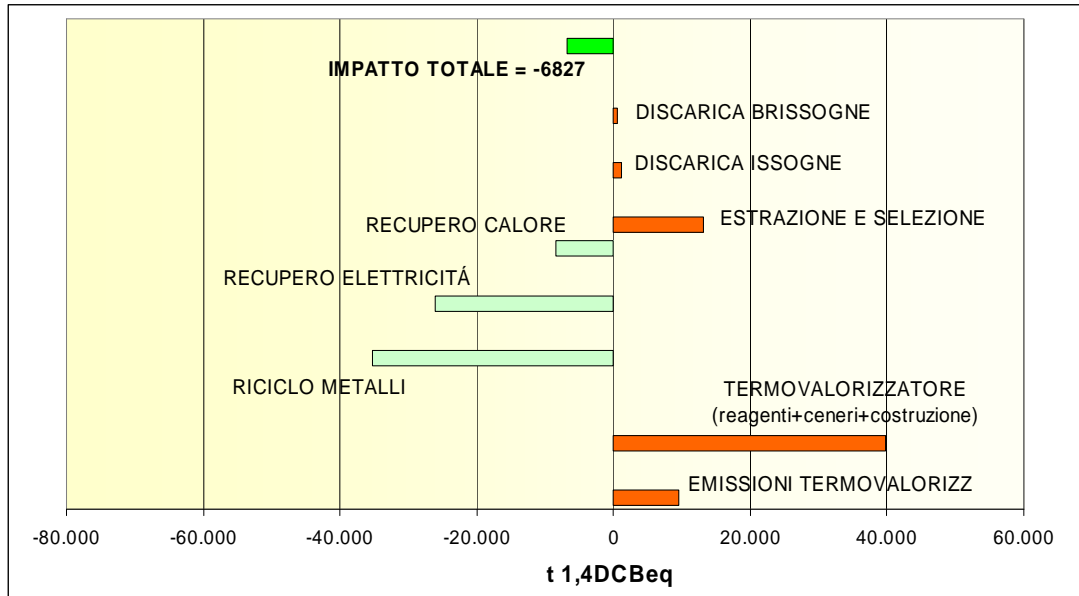
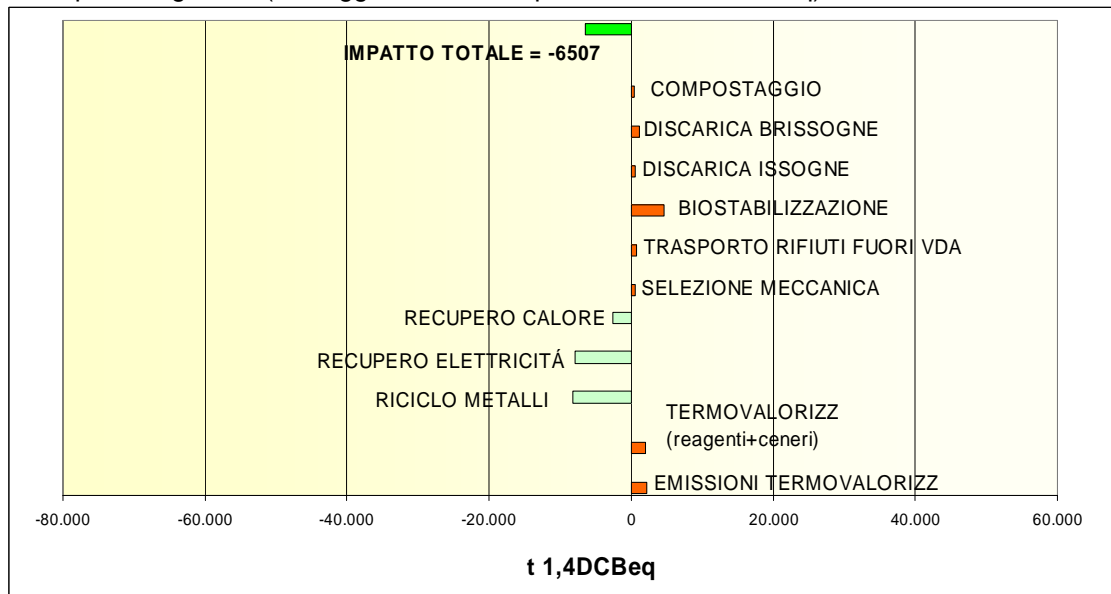


Figura 4 – Risultato dell'esercizio di controllo di sensibilità per l'impatto di tossicità equivalente per lo scenario del piano regionale (vantaggio ambientale pari a 6507 t 1,4DCBeq)



4.7. Risultati dell'esercizio di calcolo dei bilanci totali di tossicità equivalente con le ipotesi alternative del paragrafo 4.1 ma con produzione di sola energia elettrica

Proviamo ora a condurre un altro esercizio di calcolo dei bilanci di tossicità equivalente, adottando ancora le ipotesi del paragrafo 4.1 ma con la variante che tutto il vapore sia destinato alla produzione di energia elettrica (come ipotizzato in prima istanza dall'ing. Ziviani nel documento BIII) e non via sia pertanto recupero di calore.

Questo esercizio di calcolo mira ad evidenziare come la stima dei recuperi di energia elettrica e termica dal termovalorizzatore possa giocare un ruolo decisivo nel bilancio ambientale complessivo.

Facendo riferimento al procedimento di calcolo illustrato nell'Allegato 3, il fattore di emissione per le emissioni evitate da recupero di elettricità risulta pari a 6,14 kg 1,4DCBeq/GJ (valore riferito all'energia elettrica recuperata).

Il fattore di emissione riferito alla quantità di rifiuti inceneriti è dato dalla formula:

$$FE^{\circ} \text{ (kg 1,4DCBeq/t)} = FE \text{ (kg 1,4DCBeq/GJ)} * PCI \text{ (GJ/t)} * \eta_{el}$$

Dove:

PCI = 10,7 GJ/t per lo scenario del termovalorizzatore; PCI = 14 GJ/t per lo scenario regionale;

η_{el} = 0,215 (al netto degli autoconsumi).

Pertanto risulta che:

- nello scenario del termovalorizzatore: $FE^{\circ} = -14,13 \text{ kg1,4DCBeq/t}$;
- nello scenario del piano regionale: $FE^{\circ} = -18,48 \text{ kg1,4DCBeq/t}$.

I contributi ai bilanci delle emissioni evitate per recupero di elettricità risultano pertanto pari a:

- nello scenario del termovalorizzatore: $-14,13 \text{ kg1,4DCBeq/t} * 82995 \text{ t/a} * 25 \text{ anni} = -29318 \text{ t 1,4DCBeq}$;
- nello scenario del piano regionale: $-18,48 \text{ kg1,4DCBeq/t} * 19258 \text{ t/a} * 25 \text{ anni} = -8897 \text{ t 1,4DCBeq}$.

Ovviamente non si ha alcun contributo ai bilanci di tossicità equivalente per il recupero di calore.

In tal modo, con queste ipotesi, i risultati dei bilanci complessivi di tossicità equivalente indicano che lo scenario del piano regionale risulta migliore dello scenario del termovalorizzatore (Tabella 12).

Tabella 12 – Esercizio di controllo di sensibilità: confronto dei bilanci complessivi di tossicità equivalente ottenuti nello studio comparativo e dei bilanci ottenuti con le ipotesi alternative di cui al paragrafo 4.1 ma con l'ipotesi di sola produzione di energia elettrica. In questo caso lo scenario del piano regionale risulta più vantaggioso dello scenario del termovalorizzatore

	Unità di misura	Studio comparativo	Ipotesi alternative (paragrafo 4.1 - Tabella 6 – recupero di sola energia elettrica)
Scenario del termovalorizzatore	t 1,4DCBeq	-75080	-1599
Scenario del piano regionale	t 1,4DCBeq	-17159	-4913

5. Conclusioni

Le conclusioni dello Studio Comparativo risultano determinanti per concludere che lo scenario del termovalorizzatore risulta ambientalmente più compatibile rispetto allo scenario del piano regionale (pag. 57 della relazione finale Ziviani-Genon di gennaio 2009).

Delle categorie di impatto considerate nello studio LCA, la tossicità umana rappresenta la categoria più importante e decisiva nell'indirizzo della scelta finale.

Nella presente relazione è stata ribadita l'opportunità di introdurre elementi caratteristici del contesto locale nella valutazione degli impatti ambientali mediante tecnica LCA, tematica attualmente oggetto di attenzione anche in ambito scientifico internazionale.

Dall'esame della valutazione degli impatti ambientali con tecnica LCA emerge il ruolo decisivo, nell'elaborazione del bilancio ambientale complessivo, di determinate ipotesi in ingresso, in particolare:

- la scelta delle fonti di dati utilizzate per le stime di calcolo (dati misurati o dati di letteratura);
- la previsione dei recuperi energetici del termovalorizzatore (produzione di sola energia elettrica o cogenerazione);
- la scelta delle fonti energetiche sostituite dalla produzione di energia elettrica da parte del termovalorizzatore (energia importata dall'estero o energia prodotta da centrali alimentate a carbone, olio combustibile, metano).

L'individuazione delle ipotesi da adottare è discrezionale, in quanto le procedure di analisi LCA (norme UNI EN 14040 e UNI EN 14044) non danno indicazioni specifiche in merito.

Dall'esercizio di calcolo emerge in misura evidente come adottando ipotesi diverse le stime degli impatti possono variare notevolmente, portando ad esiti dello studio molto diversi tra loro.

Sulla base degli elementi fin qui emersi, si raccomanda prudenza nell'attribuire un ruolo decisivo alla valutazione degli impatti con tecnica LCA nel confronto dei due scenari considerati.

In ogni caso, è opportuno che i risultati numerici dell'analisi LCA siano oggetto di un'attenta interpretazione in relazione agli effettivi impatti ambientali provocati dall'inserimento del futuro sistema di gestione dei rifiuti nel contesto locale.

Ing. Devis Panont
Sez. Aria – Emissioni

Ing. Lorenzo Frassy
Sez. Aria – Energia

Allegati: n.3

Allegato 1

Classificazione delle categorie di impatto ambientale prevista dalle Linee Guida LCA dell'EPA ("LCA: principles and practice" – maggio 2006)

Exhibit 4-1. Commonly Used Life Cycle Impact Categories

Impact Category	Scale	Examples of LCI Data (i.e. classification)	Common Possible Characterization Factor	Description of Characterization Factor
Global Warming	Global	Carbon Dioxide (CO ₂) Nitrogen Dioxide (NO ₂) Methane (CH ₄) Chlorofluorocarbons (CFCs) Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) Methyl Bromide (CH ₃ Br)	Global Warming Potential	Converts LCI data to carbon dioxide (CO ₂) equivalents Note: global warming potentials can be 50, 100, or 500 year potentials.
Stratospheric Ozone Depletion	Global	Chlorofluorocarbons (CFCs) Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) Halons Methyl Bromide (CH ₃ Br)	Ozone Depleting Potential	Converts LCI data to trichlorofluoromethane (CFC-11) equivalents.
Acidification	Regional Local	Sulfur Oxides (SO _x) Nitrogen Oxides (NO _x) Hydrochloric Acid (HCL) Hydrofluoric Acid (HF) Ammonia (NH ₄)	Acidification Potential	Converts LCI data to hydrogen (H ⁺) ion equivalents.
Eutrophication	Local	Phosphate (PO ₄) Nitrogen Oxide (NO) Nitrogen Dioxide (NO ₂) Nitrates Ammonia (NH ₄)	Eutrophication Potential	Converts LCI data to phosphate (PO ₄) equivalents.
Photochemical Smog	Local	Non-methane hydrocarbon (NMHC)	Photochemical Oxidant Creation Potential	Converts LCI data to ethane (C ₂ H ₆) equivalents.
Terrestrial Toxicity	Local	Toxic chemicals with a reported lethal concentration to rodents	LC ₅₀	Converts LC ₅₀ data to equivalents; uses multi-media modeling, exposure pathways.
Aquatic Toxicity	Local	Toxic chemicals with a reported lethal concentration to fish	LC ₅₀	Converts LC ₅₀ data to equivalents; uses multi-media modeling, exposure pathways.
Human Health	Global Regional Local	Total releases to air, water, and soil.	LC ₅₀	Converts LC ₅₀ data to equivalents; uses multi-media modeling, exposure pathways.
Resource Depletion	Global Regional Local	Quantity of minerals used Quantity of fossil fuels used	Resource Depletion Potential	Converts LCI data to a ratio of quantity of resource used versus quantity of resource left in reserve.
Land Use	Global Regional Local	Quantity disposed of in a landfill or other land modifications	Land Availability	Converts mass of solid waste into volume using an estimated density.
Water Use	Regional Local	Water used or consumed	Water Shortage Potential	Converts LCI data to a ratio of quantity of water used versus quantity of resource left in reserve.

Allegato 2

Calcolo dei recuperi energetici del termovalorizzatore

Nel documento BIII dello studio Ziviani (paragrafi 3.3 e 3.4) viene indicato che il calore recuperato alimenterà un generatore di vapore e viene stimata una produzione di vapore pari a 37 t/h (pari a 10,28 kg/s) a 65 bar e 430°C. Sarà previsto un ciclo in assetto cogenerativo con sistema a spillamento che è ritenuto più flessibile rispetto ad un ciclo a contropressione in quanto permette nei periodi autunnale e invernale un prelievo modulato di vapore da avviare ad un impianto di teleriscaldamento.

Nell'ipotesi che tutto il vapore prodotto sia destinato alla produzione di energia elettrica, è prevista una produzione di 7,75 MW a fronte dei 31 MW di carico termico dei rifiuti in ingresso.

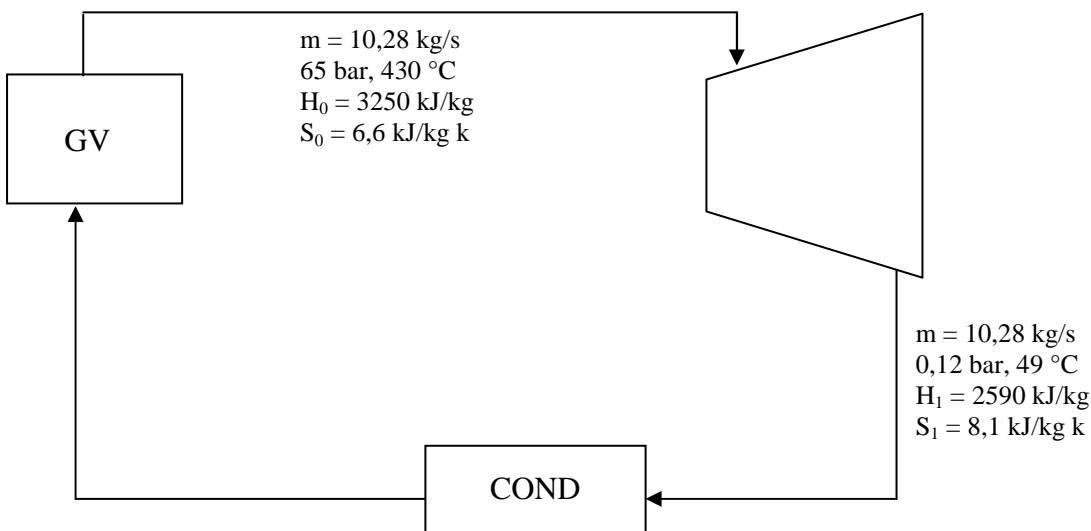
Viene tuttavia indicato che sarà possibile destinare fino al 60% del vapore prodotto al teleriscaldamento.

Per stimare, in prima approssimazione, la quantità di energia teoricamente recuperabile dal termovalorizzatore, si può ipotizzare che, per un funzionamento ottimale, il sistema venga progettato in modo da funzionare:

- nel periodo autunnale-invernale in assetto cogenerativo, con il 60% del vapore destinato al teleriscaldamento asservito a utenze termiche civili;
- nel restante periodo per la sola produzione di energia elettrica, con il 100% del vapore prodotto destinato alla produzione di energia elettrica.

Nei paragrafi successivi viene stimata l'energia recuperata nelle due modalità di funzionamento.

A2.1. Produzione di sola energia elettrica (100% del vapore destinato alla produzione di energia elettrica)



Assumiamo che tutto il vapore prodotto venga alimentato in una turbina con espansione da 65 bar a 0,12 bar.

Consideriamo che l'espansione in turbina sia isoentropica: $S_0 = S_{1s} = 6,6 \text{ kJ/kg k}$.

Alla pressione di 0,12 bar il vapore si presenta parzialmente condensato. L'entropia della miscela acqua-vapore è data da:

$$S_{1s} = (1-x) S_1^L + x S_1^V = S_1^L + x (S_1^V - S_1^L).$$

Dove x = titolo del vapore, S_1^L = entropia del liquido saturo, S_1^V = entropia del vapore saturo.

A 0,12 bar: $S_1^L = 0,7$ kJ/kg K, $S_1^V = 8,1$ kJ/kg K.

Pertanto l'equazione diventa: $6,6 = 0,7 + x (8,1 - 0,7)$. Dalla quale si può ottenere il titolo del vapore, che risulta pari a: $x = 0,8$.

Possiamo ora calcolare l'entalpia del punto finale dell'espansione isoentropica:

$$H_{1s} = (1-x) H_1^L + x H_1^V.$$

Dove H_1^L = entalpia del liquido saturo = 209 kJ/kg; H_1^V = entalpia del vapore saturo = 2590 kJ/kg.

$$H_{1s} = (1-0,8) 209 + 0,8 * 2590 = 2114$$
 kJ/kg.

La potenza prodotta nell'espansione isoentropica (ideale) è pertanto pari a:

$$W_s = (H_0 - H_{1s}) m = (3250 - 2114) * 10,28 = 11678$$
 kW.

Questa è la potenza massima ottenibile con l'espansione del vapore in una turbina adiabatica.

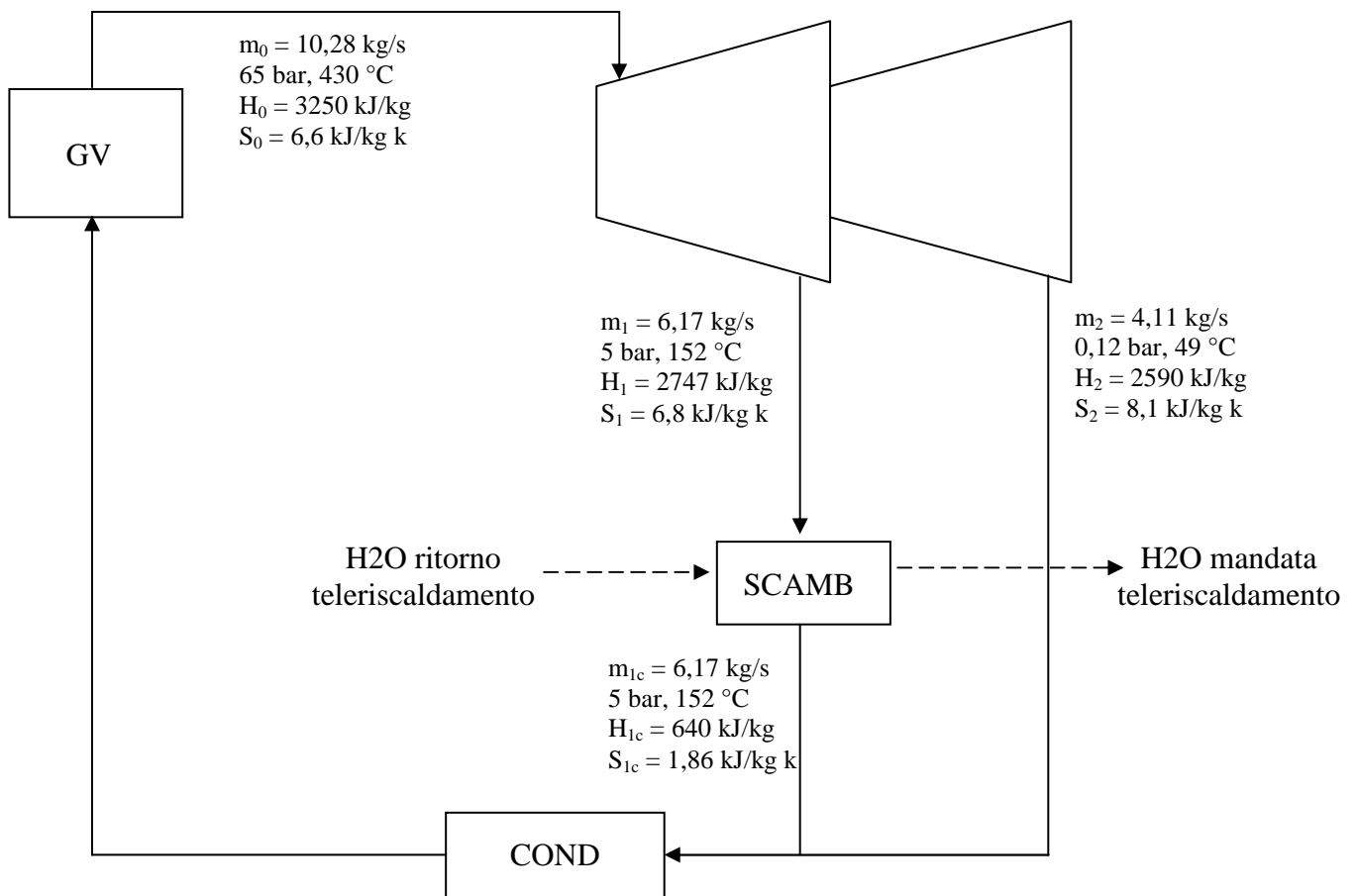
Per calcolare la potenza elettrica resa è necessario tenere conto del rendimento della turbina (potenza resa all'albero) e del rendimento del generatore.

Come sopra ricordato, nello studio Ziviani si ipotizza una potenza elettrica resa pari a 7750 kW.

Pertanto il rendimento complessivo assunto nello studio Ziviani risulta pari a:

$$\eta = 7750/11678 = 66\%.$$

A2.2. Produzione di energia elettrica e termica (60% del vapore destinato alla produzione di energia termica)



In questo caso ipotizziamo che venga effettuato un primo spillamento del 60% del vapore prodotto ad una pressione di uscita di 5 bar e successivo utilizzo dello stesso vapore in uno scambiatore termico asservito ad una rete di teleriscaldamento in cui viene ceduto tutto il calore di condensazione, per cui all'uscita dello scambiatore il fluido si trovi nelle condizioni di liquido saturo.

Il restante vapore (40% del vapore prodotto) subisce un'espansione completa fino a 0,12 bar per l'ulteriore produzione di energia elettrica.

1° spillamento

Consideriamo un'espansione isoentropica: $S_0 = S_{1s} = 6,6 \text{ kJ/kg k}$.

Alla pressione di 5 bar il vapore con questa entropia si presenta parzialmente condensato.

L'entropia della miscela acqua-vapore è data da:

$$S_{1s} = (1-x) S_1^L + x S_1^V = S_1^L + x (S_1^V - S_1^L).$$

Dove x = titolo del vapore, S_1^L = entropia del liquido saturo, S_1^V = entropia del vapore saturo.

A 5 bar: $S_1^L = 1,86 \text{ kJ/kg K}$, $S_1^V = 6,8 \text{ kJ/kg K}$.

Pertanto l'equazione diventa: $6,6 = 1,86 + x (6,8 - 1,86)$. Dalla quale si ottiene il titolo del vapore che risulta pari a: $x = 0,96$.

Possiamo ora calcolare l'entalpia del punto finale dell'espansione isoentropica:

$$H_{1s} = (1-x) H_1^L + x H_1^V.$$

Dove H_1^L = entalpia del liquido saturo = 640 kJ/kg ; H_1^V = entalpia del vapore saturo = 2747 kJ/kg .

$$H_{1s} = (1-0,96) 640 + 0,96 * 2747 = 2663 \text{ kJ/kg}.$$

La potenza prodotta nell'espansione isoentropica (ideale) è pertanto pari a:

$$W_{s1} = (H_0 - H_{1s}) m_0 = (3250 - 2663) * 10,28 = 6034 \text{ kW}.$$

Considerando che anche in questo caso il rendimento complessivo sia pari al 66% (come calcolato precedentemente), la potenza elettrica resa risulta pari a:

$$W_1 = 0,66 * W_{s1} = 0,66 * 6034 = 3982 \text{ kW}.$$

Condensazione per teleriscaldamento

Per stimare l'energia recuperabile dal vapore in uscita dal primo spillamento nello scambiatore annesso alla rete di teleriscaldamento, si considera che tutto il vapore venga condensato.

L'entalpia del fluido in uscita dal condensatore sarà pertanto pari all'entalpia del liquido saturo a 5 bar, ovvero pari a 640 kJ/kg .

Per cui la potenza termica massima recuperabile sarà pari a:

$$W_{1c} = (H_1 - H_{1c}) m_1 = (2747 - 640) * 6,17 = 13000 \text{ kW}.$$

2° spillamento

Consideriamo un'espansione isoentropica: $S_1 = S_{2s} = 6,8 \text{ kJ/kg k}$.

Alla pressione di 0,12 bar il vapore si presenta parzialmente condensato. L'entropia della miscela acqua-vapore è data da:

$$S_{2s} = (1-x) S_2^L + x S_2^V = S_2^L + x (S_2^V - S_2^L).$$

Dove x = titolo del vapore, S_2^L = entropia del liquido saturo, S_2^V = entropia del vapore saturo.

A 0,12 bar: $S_2^L = 0,7 \text{ kJ/kg K}$, $S_2^V = 8,1 \text{ kJ/kg K}$.

Pertanto l'equazione diventa: $6,8 = 0,7 + x (8,1 - 0,7)$. Ricavando il titolo del vapore, esso risulta pari a: $x = 0,82$.

Calcoliamo l'entalpia del punto finale dell'espansione isoentropica.

$$H_{2s} = (1-x) H_2^L + x H_2^V.$$

Dove H_2^L = entalpia del liquido saturo = 209 kJ/kg ; H_2^V = entalpia del vapore saturo = 2590 kJ/kg .

$$H_{2s} = (1-0,82) 209 + 0,82 * 2590 = 2161 \text{ kJ/kg.}$$

La potenza prodotta nell'espansione isoentropica (ideale) è pertanto pari a:

$$W_{s2} = (H_1 - H_{2s}) m_1 = (2747 - 2161) * 4,11 = 2408 \text{ kW.}$$

Considerando che anche in questo caso il rendimento sia pari al 66% (come calcolato precedentemente), la potenza elettrica resa risulta pari a:

$$W_2 = 0,66 * W_{s2} = 0,66 * 2408 = 1589 \text{ kW.}$$

Recuperi energetici

Pertanto, nelle condizioni ipotizzate, il sistema produce:

$$\text{energia elettrica} = W_1 + W_2 = 3982 + 1589 = 5571 \text{ kW}$$

$$\text{energia termica} = W_{1c} = 13000 \text{ kW.}$$

A2.3. Calcolo dei recuperi annuali di energia termica ed elettrica

Consideriamo, in prima approssimazione, che il sistema di recupero energetico venga progettato in modo da funzionare in assetto cogenerativo durante il periodo autunnale-invernale per soddisfare la richiesta di calore per il teleriscaldamento, e in sola produzione di energia elettrica per restanti periodi.

In realtà, per far fronte a tale esigenza di modulazione, si può presumere che l'impianto venga ottimizzato in assetto cogenerativo con spillamento di una certa quota di vapore, con una soluzione di compromesso tra le due situazioni limite sopra esposte.

Supponiamo che il periodo di richiesta di energia termica per il riscaldamento sia pari a:

$$180 \text{ giorni/anno} * 14 \text{ ore/giorno} = 2520 \text{ ore/anno;}$$

le ore di funzionamento vengono assunte sulla base delle limitazioni del DPR 412/93 art. 9 per la zona E (ore 14 giornaliere dal 15 ottobre l 15 aprile).

Assumiamo pertanto che:

- l'impianto funzioni per 2520 ore/anno in assetto cogenerativo con produzione di 5,571 MWel e 13 MWt;
- per le restanti (8000-2520) = 5480 ore, l'impianto funzioni per la sola produzione di energia elettrica con produzione di 7,75 MWel.

L'energia recuperata annualmente risulta pertanto pari a:

$$\text{Energia elettrica prodotta} = 5,571 * 2520 + 7,750 * 5480 = 56509 \text{ MWhel/anno.}$$

Considerando una potenza assorbita per autoconsumo pari a 1,1 MW (documento BIII dello studio Ziviani), l'energia netta cedibile risulta pari a:

$$\underline{\text{Energia elettrica cedibile al netto degli autoconsumi} = 56509 - (1,1 * 8000) = 47709 \text{ MWhel/anno} = 171.752 \text{ GJel/anno.}}$$

$$\underline{\text{Energia termica prodotta} = 13 * 2520 = 32760 \text{ MWht} = 117.936 \text{ GJt/anno.}}$$

$$\underline{\text{Energia totale prodotta} = 47709 + 32760 = 80469 \text{ MWh} = 289.688 \text{ GJ/anno.}}$$

Il carico termico in ingresso all'inceneritore è pari a 31 MW, a cui corrisponde un carico annuale pari a:

$$31 \text{ MW} * 8000 \text{ h/a} = 248.000 \text{ MWh/a.}$$

Pertanto, i rendimenti energetici su base annuale sono pari a:

- recupero elettricità = 47709 MWhel/a / 248000 MWh/a = 19,2%;
- recupero calore = 32760 MWht/a / 248000 MWh/a = 13,2%.

Allegato 3

Calcolo dei fattori di emissione di tossicità equivalente per le emissioni evitate per recupero di energia dal termovalorizzatore

A3.1. Fattori di emissione di tossicità equivalente utilizzati nello studio comparativo

Nello studio comparativo vengono riportati i seguenti fattori di emissione di tossicità equivalente per le emissioni evitate per i recuperi di energia elettrica e calore (tabelle 2.23 e 2.24 dello studio):

Tabella 1 – Fattori di emissione di tossicità equivalente riportati nello studio comparativo – valori riferiti alla quantità di rifiuto avviato a termovalorizzazione

	Unità di misura	Elettricità mix elettrico Italia 2004	Calore caldaia a olio
Scenario del termovalorizzatore	kg 1,4DCBeq/t	-35,38	-14,16
Scenario del piano regionale	kg 1,4DCBeq/t	-46,24	-18,52

I fattori di emissione sopra riportati comprendono una componente primaria, legata alle emissioni in atmosfera degli impianti (centrali termoelettriche e caldaie a gasolio), ed una serie di componenti secondarie associate al ciclo di vita del combustibile fossile, comprendente l'estrazione, la raffinazione, i trasporti e la distribuzione alle utenze (pag. 19 dello studio comparativo).

Pertanto:

$$FE_{el} = FE_{el-prim} + FE_{el-sec}$$

$$FE_{cal} = FE_{cal-prim} + FE_{cal-sec}$$

Dove:

- FE_{el} e FE_{cal} sono, rispettivamente, i fattori di emissione totali per la produzione di energia termoelettrica e di energia termica con caldaie ad olio combustibile (in kg 1,4DCBeq/t);
- $FE_{el-prim}$ e $FE_{cal-prim}$ sono i fattori di emissione della componente primaria (in kg 1,4DCBeq/t);
- FE_{el-sec} e $FE_{cal-sec}$ sono i fattori di emissione della componente secondaria (in kg 1,4DCBeq/t).

A3.2. Calcolo della componente primaria dei fattori di emissione utilizzati nello studio comparativo

A3.2.1 Emissioni da centrali termoelettriche

Per quanto riguarda le emissioni delle centrali termoelettriche, in mancanza di riferimenti espliciti nello studio comparativo, si prende a riferimento la banca dati nazionale APAT-Sinanet (www.inventaria.sinanet.apat.it).

Nella Tabella 2 seguente vengono riportati i fattori di emissione per le singole sostanze indicati nella banca dati Sinanet per impianti di produzione di energia elettrica alimentati a carbone, olio combustibile e gas naturale⁴ (colonna 3). In colonna 5 della stessa tabella viene poi calcolato, per ogni singola sostanza, un fattore di emissione mediato sulla base della distribuzione assunta a riferimento nello studio (60% gas naturale, 20% olio combustibile, 20% carbone). Nell'ultima

⁴ Macrosettore - Combustione: Energia e Industria di Trasformazione; Settore - Produzione di energia elettrica; 010102 - Caldaie con potenza termica tra 50 e 300 MW

colonna, infine, viene calcolato per ogni sostanza il valore corrispondente in tossicità equivalente, tenendo conto dei potenziali di tossicità umana riportati nella tabella 1.4 dello studio comparativo. La somma dei contributi dei singoli inquinanti costituisce la componente primaria del fattore di emissione della produzione di energia elettrica, e risulta pari a 22,89 kg 1,4DCBeq/GJ (valore riferito alla quantità di energia elettrica recuperata).

Tabella 2 – Calcolo della componente primaria del fattore di emissione di tossicità equivalente per la produzione di energia elettrica secondo il Parco Termoelettrico Nazionale utilizzando i dati della banca dati APAT-Sinanet – mix termoelettrico Italia 2004

Inquinante	Combustibile	Fattore di emissione APAT Sinanet	%impianti rispetto Parco Termoel. Naz.	Fattore di emissione APAT Sinanet mediato	Potenziale di tossicità equivalente HTP	Fattore di emissione in tossicità equivalente
		mg/GJ		mg/GJ	kg 1,4 DCBeq/kg	kg 1,4 DCBeq/GJ
As	Carbone	208,76	20	44,648	350.000	15,627
As	Olio comb	14,24	20			
As	Gas naturale	0,08	60			
Cd	Carbone	16,7	20	6,164	150.000	0,925
Cd	Olio comb	12,8	20			
Cd	Gas naturale	0,44	60			
Cr	Carbone	506,78	20	102,216	650	0,066
Cr	Olio comb	2,62	20			
Cr	Gas naturale	0,56	60			
Cu	Carbone	*	20	3,19	4.300	0,014
Cu	Olio comb	14,93	20			
Cu	Gas naturale	0,34	60			
Diossina	Carbone	0,000003	20	0,0000054	1.900.000.000	0,010
Diossina	Olio comb	0,000024	20			
Diossina	Gas naturale	*	60			
Hg	Carbone	6,88	20	1,96	6.000	0,012
Hg	Olio comb	2,62	20			
Hg	Gas naturale	0,1	60			
NOx	Carbone	312942	20	187743	1,2	0,225
NOx	Olio comb	156419	20			
NOx	Gas naturale	156452	60			
Ni	Carbone	*	20	170,6	35.000	5,971
Ni	Olio comb	853	20			
Ni	Gas naturale	*	60			
Pb	Carbone	218	20	47,36	470	0,022
Pb	Olio comb	18,2	20			
Pb	Gas naturale	0,2	60			
Se	Carbone	*	20	0,338	48.000	0,016
Se	Olio comb	1,66	20			
Se	Gas naturale	0,01	60			
TOTALE						22,89

* Valore non previsto nella banca dati Sinanet e posto pari a 0

A3.2.2 Emissioni da caldaie ad olio combustibile

Per le emissioni delle caldaie domestiche ad olio combustibile, si prendono a riferimento i dati indicati nella tabella 2.7 dello studio comparativo. Il calcolo della componente primaria del fattore di emissione è riportato in Tabella 3, e risulta pari a 0,52 kg 1,4DCBeq/GJ (valore riferito alla quantità di calore recuperato).

Tabella 3 – Calcolo della componente primaria del fattore di emissione di tossicità equivalente delle emissioni da caldaie domestiche ad olio combustibile con i dati presi a riferimento nello studio comparativo (tab. 2.7 dello studio)

<i>Inquinante</i>	<i>Fattore di emissione</i>	<i>Fattore di emissione</i>	<i>Potenziale di tossicità equivalente HTP</i>	<i>Fattore di emissione in tossicità equivalente</i>
	<i>mg/MJ</i>	<i>mg/GJ</i>	<i>kg 1,4 DCBeq/kg</i>	<i>kg 1,4 DCBeq/GJ</i>
NOx	29	29000	1,2	0,035
benzene	0,092	92	1.900	0,175
IPA	0,00053	0,53	570.000	0,302
Hg	0,00057	0,57	6.000	0,003
TOTALE				0,52

A3.3. Calcolo della componente secondaria dei fattori di emissione utilizzati nello studio comparativo

La componente secondaria dei fattori di emissione può essere calcolata per differenza tra il fattore di emissione totale e la componente primaria calcolata nel paragrafo precedente.

Riferiamo, in primo luogo, i fattori di emissione totali riportati in Tabella 1 alla quantità di energia recuperata, in modo che siano congruenti con i valori calcolati al paragrafo precedente.

Risulta che:

fattore di emissione riferito alla quantità di energia recuperata (kg 1,4DCBeq/GJ) = fattore di emissione riferito alla quantità di rifiuti inceneriti (kg 1,4DCBeq/t) / energia recuperata (GJ/t).

A tale proposito, l'energia recuperata dalla termovalorizzazione di 1 tonnellata di rifiuto è pari a:

- energia elettrica recuperata (GJ/t) = PCI · η_e ;
- energia termica recuperata (GJ/t) = PCI · η_t ;

dove η_e e η_t sono, rispettivamente, i rendimenti della produzione di energia elettrica e termica del termovalorizzatore, e PCI è il potere calorifico inferiore del rifiuto incenerito (pari a 10,7 GJ/t per lo scenario del termovalorizzatore e pari a 14 GJ/t per lo scenario regionale).

Ad esempio, per lo scenario del termovalorizzatore, il fattore di emissione della produzione di energia termoelettrica risulta pari a:

$$FE = (35,36 \text{ kg } 1,4DCBeq/t) / (10,7 \text{ GJ/t}) / 0,115 = 28,75 \text{ kg } 1,4DCBeq/GJ.$$

Allo stesso modo è possibile calcolare i fattori di emissione riferiti alla quantità di energia recuperata per entrambi gli scenari (Tabella 4). I fattori di emissione per recupero di energia termica ed elettrica dei due scenari coincidono, in quanto si riferiscono alla stessa fonte di emissione sostituita.

Tabella 4 – Conversione dei fattori di emissione totali in riferimento alla quantità di energia recuperata

Produzione elettricità mix elettrico Italia 2004				
	<i>Fattore di emissione riferito alla quantità di rifiuti* (kg 1,4DCBeq/t)</i>	<i>PCI (GJ/t)</i>	<i>Rendimento elettrico η_e</i>	<i>Fattore di emissione riferito alla quantità di energia recuperata (kg 1,4DCBeq/GJ)**</i>
<i>Scenario del termovalorizzatore</i>	35,38	10,7	0,115	28,75
<i>Scenario del piano regionale</i>	46,24	14	0,115	28,72
Produzione di calore caldaie ad olio combustibile				
	<i>Fattore di emissione riferito alla quantità di rifiuti* (kg 1,4DCBeq/t)</i>	<i>PCI (GJ/t)</i>	<i>Rendimento termico η_t</i>	<i>Fattore di emissione riferito alla quantità di energia recuperata (kg 1,4DCBeq/GJ)**</i>
<i>Scenario del termovalorizzatore</i>	14,16	10,7	0,402	3,29
<i>Scenario del piano regionale</i>	18,52	14	0,402	3,29

* Valori riportati in Tabella 1

** Pari a: (fattore di emissione riferito alla quantità di rifiuti) / (PCI* η)

A questo punto è possibile calcolare le componenti secondarie per differenza tra il fattore di emissione totale (valori di Tabella 4) e il fattore di emissione della componente primaria (valori di Tabelle 2 e 3). Si ottengono i valori riportati in Tabella 5.

Tabella 5 – Calcolo del fattore di emissione della componente secondaria (valori riferiti alla quantità di energia recuperata)

Produzione elettricità mix elettrico Italia 2004			
	<i>Fattore di emissione totale (kg 1,4DCBeq/GJ)</i>	<i>Fattore di emissione della componente primaria (kg 1,4DCBeq/GJ)</i>	<i>Fattore di emissione della componente secondaria (kg 1,4DCBeq/GJ)</i>
<i>Entrambi gli scenari</i>	28,75	22,89	5,86
Produzione di calore caldaie ad olio combustibile			
	<i>Fattore di emissione totale (kg 1,4DCBeq/GJ)</i>	<i>Fattore di emissione della componente primaria (kg 1,4DCBeq/GJ)</i>	<i>Fattore di emissione della componente secondaria (kg 1,4DCBeq/GJ)</i>
<i>Entrambi gli scenari</i>	3,29	0,52	2,77

A3.4. Calcolo dei fattori di emissione di tossicità equivalente con le ipotesi alternative per l'esercizio di controllo di sensibilità

Sulla base dei valori determinati nei paragrafi precedenti, calcoliamo i fattori di emissione di tossicità equivalente con le seguenti condizioni:

- recuperi di energia secondo le ipotesi del documento BIII dell'ing. Ziviani con funzionamento ottimizzato secondo la richiesta della rete di teleriscaldamento (come da calcolo riportato nell'Allegato 2);
- energia termoelettrica sostituita proveniente solo da centrali alimentate a gas naturale;
- caldaie civili sostituite alimentate secondo il mix del territorio regionale: 57% gasolio, 29% GPL, 14% gas naturale (si veda relazione ARPA prot. n. 3410 del 09/04/2009).

I fattori di emissione totale, riferiti alla quantità di energia recuperata (kg 1,4DCBeq/GJ), sono dati da:

$$FE_{el} = FE_{el-prim} + FE_{el-sec}$$

$$FE_{cal} = FE_{cal-prim} + FE_{cal-sec}$$

Per le componenti secondarie, in mancanza di altri riferimenti per il calcolo, assumiamo gli stessi valori assunti nello studio comparativo e ricavati in Tabella 5 (ultima colonna), pur consapevoli che i valori calcolati secondo le condizioni qui prese a riferimento potrebbero risultare diversi (presumibilmente inferiori).

Per le componenti primarie procediamo come segue.

Per la produzione di energia elettrica, prendiamo a riferimento i dati di Tabella 2 assumendo un contributo del 100% per le centrali alimentate a gas naturale e non considerando i contributi delle centrali a carbone e ad olio combustibile. I calcoli, riportati in Tabella 6, portano a determinare un valore pari a 0,28 kg 1,4DCBeq/GJ.

Tabella 6 – Calcolo della componente primaria del fattore di emissione di tossicità equivalente per la produzione di energia elettrica utilizzando la banca dati APAT-Sinanet –centrali alimentate solo a gas naturale

Inquinante	Combustibile	Fattore di emissione APAT Sinanet	%impianti rispetto Parco Termoeol. Naz.	Fattore di emissione APAT Sinanet mediato	Potenziale di tossicità equivalente HTP	Fattore di emissione in tossicità equivalente
		mg/GJ		mg/GJ		kg 1,4 DCBeq/kg
As	Carbone	208,76	0	0,08	350.000	0,028
As	Olio comb	14,24	0			
As	Gas naturale	0,08	100			
Cd	Carbone	16,7	0	0,44	150.000	0,066
Cd	Olio comb	12,8	0			
Cd	Gas naturale	0,44	100			
Cr	Carbone	506,78	0	0,56	650	0,000
Cr	Olio comb	2,62	0			
Cr	Gas naturale	0,56	100			
Cu	Carbone	*	0	0,34	4.300	0,001
Cu	Olio comb	14,93	0			
Cu	Gas naturale	0,34	100			
Diossina	Carbone	0,000003	0	0	1.900.000.000	0,000

Diossina	Olio comb	0,000024	0			
Diossina	Gas naturale	*	100			
Hg	Carbone	6,88	0	0,1	6.000	0,001
Hg	Olio comb	2,62	0			
Hg	Gas naturale	0,1	100			
NOx	Carbone	312942	0	156452	1,2	0,188
NOx	Olio comb	156419	0			
NOx	Gas naturale	156452	100			
Ni	Carbone	*	0	0	35.000	0,000
Ni	Olio comb	853	0			
Ni	Gas naturale	*	100			
Pb	Carbone	218	0	0,2	470	0,000
Pb	Olio comb	18,2	0			
Pb	Gas naturale	0,2	100			
Se	Carbone	*	0	0,01	48.000	0,000
Se	Olio comb	1,66	0			
Se	Gas naturale	0,01	100			
TOTALE						0,28

* Valore non previsto nella banca dati Sinanet e posto pari a 0

Per la produzione di calore delle caldaie civili, invece, prendiamo a riferimento i dati utilizzati nell'inventario regionale delle emissioni curato da ARPA Valle d'Aosta. In tal modo si determina un valore pari a 0,09 kg 1,4DCBeq/GJ (Tabella 7).

Tabella 7 – Calcolo della componente primaria del fattore di emissione di tossicità equivalente per la produzione di calore da impianti termici civili secondo la distribuzione locale utilizzando i dati dell'inventario emissioni regionale VdA

Inquinante	Combustibile	Fattore di emissione	% rispetto impianti	Fattore di emissione mediato	Potenziale di tossicità equivalente HTP	Fattore di emissione in tossicità equivalente
		mg/GJ		mg/GJ	kg 1,4 DCBeq/kg	kg 1,4 DCBeq/GJ
Diossina	Gasolio	0,00001	57	0,00000656	1.900.000.000	0,012
Diossina	GPL	0,000002	29			
Diossina	Gas naturale	0,000002	14			
NOx	Gasolio	70000	57	60840	1,20	0,073
NOx	GPL	50000	29			
NOx	Gas naturale	46000	14			
PM10	Gasolio	3600	57	2912	0,82	0,002
PM10	GPL	2000	29			
PM10	Gas naturale	2000	14			
TOTALE						0,09

Sommando i contributi delle componenti primarie e secondarie, si ricavano i fattori di emissione totali, riferiti alla quantità di energia recuperata. I valori sono riportati nella successiva Tabella 8.

Tabella 8 – Calcolo del fattore di emissione totale nell'ipotesi alternativa (valori riferiti alla quantità di energia recuperata)

Produzione elettricità – centrali a gas naturale			
	<i>Fattore di emissione della componente primaria (kg 1,4DCBeq/GJ)</i>	<i>Fattore di emissione della componente secondaria (kg 1,4DCBeq/GJ)</i>	<i>Fattore di emissione totale (kg 1,4DCBeq/GJ)</i>
<i>Entrambi gli scenari</i>	0,28	5,86	6,14
Produzione di calore con caldaie secondo il mix locale			
	<i>Fattore di emissione della componente primaria (kg 1,4DCBeq/GJ)</i>	<i>Fattore di emissione della componente secondaria (kg 1,4DCBeq/GJ)</i>	<i>Fattore di emissione totale (kg 1,4DCBeq/GJ)</i>
<i>Entrambi gli scenari</i>	0,09	2,77	2,86

A questo punto, convertiamo i fattori di emissione così calcolati in riferimento alla quantità di rifiuti inceneriti.

A tale proposito:

fattore di emissione riferito alla quantità di rifiuti inceneriti (kg 1,4DCBeq/t) = fattore di emissione riferito alla quantità energia recuperata (kg 1,4DCBeq/GJ) * energia recuperata (GJ/t) = fattore di emissione riferito alla quantità energia recuperata (kg 1,4DCBeq/GJ) * (PCI · η).

I valori calcolati con il calcolo appena esposto, sono riportati in Tabella 9.

Tabella 9 – Conversione dei fattori di emissione totali in riferimento alla quantità di rifiuti inceneriti – ipotesi alternativa

Produzione elettricità – centrali a gas naturale				
	<i>Fattore di emissione riferito alla quantità di energia recuperata (kg 1,4DCBeq/GJ)*</i>	<i>PCI (GJ/t)</i>	<i>Rendimento elettrico η_e**</i>	<i>Fattore di emissione riferito alla quantità di rifiuti inceneriti (kg 1,4DCBeq/t)***</i>
<i>Scenario del termovalorizzatore</i>	6,14	10,7	0,192	12,61
<i>Scenario del piano regionale</i>	6,14	14	0,192	16,50
Produzione di calore con caldaie secondo il mix locale				
	<i>Fattore di emissione riferito alla quantità di energia recuperata (kg 1,4DCBeq/GJ)*</i>	<i>PCI (GJ/t)</i>	<i>Rendimento termico η_t**</i>	<i>Fattore di emissione riferito alla quantità di rifiuti inceneriti (kg 1,4DCBeq/t)</i>
<i>Scenario del termovalorizzatore</i>	2,86	10,7	0,132	4,04
<i>Scenario del piano regionale</i>	2,86	14	0,132	5,29

* Valori riportati in Tabella 8 – colonna 3

** Valori determinati con il procedimento di calcolo riportato nell'Allegato 2

*** Pari a: (fattore di emissione riferito all'energia recuperata)·PCI·η

Nella successiva Tabella 10 riportiamo, per comodità di confronto, i valori dei fattori di emissione adottati nello studio comparativo con quelli calcolati nelle condizioni ipotizzate da ARPA VdA.

Tabella 10 – Fattori di emissione di tossicità equivalente per emissioni evitate da recupero energetico

	Unità di misura	Emissioni evitate per recupero energia elettrica		Emissioni evitate per recupero energia termica	
		Elettricità mix elettrico Italia 2004	Elettricità da centrali a gas naturale	Calore caldaie a olio combustibile	Calore caldaie secondo mix locale
Scenario del termovalorizzatore	kg 1,4DCBeq/t	-35,38	-12,61	-14,16	-4,04
Scenario del piano regionale	kg 1,4DCBeq/t	-46,24	-16,50	-18,52	-5,29