

Regione autonoma Valle d'Aosta

Assessorato Territorio, Ambiente e Opere pubbliche

**Studio comparativo fra i sistemi di trattamento e smaltimento dei rifiuti in Valle  
d'Aosta**

**Approfondimenti richiesti dalla III Commissione Consiliare**

**ALLEGATO TECNICO 2**

**Approfondimenti relativi allo scenario 2**

Aspetti legati alle tecnologie ed alla scala dell'impianto.



**INDICE**

<b>1.</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>TRATTAMENTI TERMICI .....</b>	<b>2</b>
2.1.	TECNOLOGIE DI FORNI PRESENTI A LIVELLO MONDIALE.....	5
2.1.1.	Prima valutazione della tecnologia di forno utilizzabile .....	6
2.2.	APPROFONDIMENTI SUI TRATTAMENTI DI GASSIFICAZIONE E PIROLISI.....	7
2.3.	TECNOLOGIA DI DISSOCIAZIONE MOLECOLARE .....	8
2.3.1.	Considerazioni .....	9
2.4.	COMMENTI .....	10
<b>3.</b>	<b>TRATTAMENTO EMISSIONI GASSOSE.....</b>	<b>11</b>
3.1.	PRIMA VALUTAZIONE DELLA LINEA DI TRATTAMENTO FUMI UTILIZZABILE .....	16
3.2.	COMMENTI .....	17
<b>4.</b>	<b>SCALA DEGLI IMPIANTI.....</b>	<b>18</b>
4.1.	CONSIDERAZIONI .....	22

## 1. PREMESSA

Nel presente documento vengono approfonditi alcuni aspetti relativi lo scenario alternativo al vigente Piano regionale di gestione dei rifiuti, scenario basato sulla realizzazione di un termovalorizzatore in Valle d’Aosta e sulla bonifica delle discariche esistenti.

In particolare verranno illustrate le scelte effettuate in via preliminare, relative la tecnologia di trattamento termico e la linea di trattamento fumi, argomento per altro già affrontato nei documenti redatti a marzo 2007: documento B - Impianto di termovalorizzazione, documento BII “Analisi comparativa delle migliori tecnologie” e nel documento B - Impianto di termovalorizzazione, allegato “Analisi delle tecnologie di termovalorizzazione”, ai quali si rimanda per maggiori dettagli. Inoltre, così come richiesto dalla III Commissione Consiliare permanente, verranno esaminate più dettagliatamente altre possibili tecnologie quali la pirolisi, la gassificazione e la dissociazione molecolare.

Verrà successivamente affrontato il problema relativo la scala dell’impianto, esaminando l’attuale situazione italiana ed individuando la collocazione, all’interno di detta situazione, del futuro impianto previsto per la Valle d’Aosta.

## 2. TRATTAMENTI TERMICI

L’incenerimento è una tecnica di smaltimento di rifiuti finalizzata alla distruzione degli stessi, con conseguenti notevoli riduzioni in massa e volume. Occorre rilevare che il termine incenerimento viene di norma identificato con la combustione diretta dei rifiuti anche se, in accordo a quanto enunciato all’art. 3 della direttiva 2000/76/CE (recepita dal D.Lgs. 11/05/2005 n. 133 che di fatto costituisce la normativa di riferimento sull’incenerimento) in tale accezione sono inclusi anche “...*altri procedimenti di trattamento termico quali, ad esempio, la pirolisi, la gassificazione e i procedimenti del plasma, sempre che le sostanze risultanti dal trattamento termico siano successivamente incenerite*”. In altre parole anche gli

impianti basati su processi termici operanti in condizioni parzialmente ossidative (gassificazione) o in atmosfera inerte (pirolisi), qualora i prodotti risultanti dal trattamento (principalmente il gas derivato o “syngas” e, in misura minore le frazioni liquide “tar” e solide “char”) siano combustibili “tal quali”, senza alcun trattamento preventivo, all’interno dello stesso impianto sono, dal punto di vista normativo equiparate alla combustione diretta dei rifiuti.

In realtà, sotto l’aspetto tecnico, la pirolisi e la gassificazione (ed anche i trattamenti all’arco-plasma che possono essere ricondotti ad una combinazione dei due suddetti processi) possono differire sostanzialmente dall’incenerimento sia per quanto riguarda le condizioni operative e le modalità di recupero energetico sui prodotti intermedi da essi derivabili, sia per quanto riguarda il differente grado di maturità commerciale delle tecnologie che si basano su tali processi.

### **Incenerimento**

Per incenerimento si intende una combustione (ossidazione) ad alta temperatura, che trasforma i rifiuti combustibili solidi, liquidi o gassosi in anidride carbonica, vapore d’acqua, scorie e ceneri. A seconda delle caratteristiche dei rifiuti si possono formare, in quantità variabili, altri effluenti.

### **Gassificazione**

Il processo di gassificazione consiste nella conversione di un materiale solido o liquido in un gas combustibile, ottenuta tramite un’ossidazione parziale condotta sotto l’azione del calore. Al contrario della combustione, nella quale l’ossidazione viene condotta con un eccesso di comburente rispetto al valore stechiometrico, la gassificazione viene condotta con quantitativi di agente ossidante (normalmente aria, ma anche aria arricchita con ossigeno o addirittura ossigeno puro) inferiore a quello stechiometrico.

I prodotti derivati della gassificazione dei rifiuti sono costituiti essenzialmente da:

- Una corrente gassosa (gas derivato o “SynGas”), costituente il prodotto principale, che può contenere frazione condensabili (“tar”) a temperatura ambiente;
- Un residuo solido costituito dagli inerti e dalla frazione organica non convertita (“char”).

### **Pirolisi**

Il processo di pirolisi consiste nella degradazione termica di un materiale, condotta in totale assenza di agente ossidante. In pratica essa consiste in una sorta di estremizzazione del processo di gassificazione, anche se l’eliminazione completa dell’ossigeno risulta alquanto

difficoltosa da ottenere (si pensi anche al fatto che molti rifiuti contengono quantità rilevanti di ossigeno) per cui durante la pirolisi si assiste anche all'ossidazione di alcuni composti. Il processo, in quanto tale, è complessivamente endotermico e richiede pertanto apporto di calore dall'esterno, in genere ottenuto attraverso la combustione di parte dei prodotti ottenuti, con particolare riguardo alla frazione gassosa.

Il risultato del trattamento è quindi la produzione di un gas (gas di pirolisi), di una frazione liquida a temperatura ambiente (olio) e di un residuo solido ancora combustibile (char).

### **Sistemi al plasma**

Recentemente per il trattamento anche dei rifiuti urbani sono stati proposti sistemi al plasma (gas ad altissima temperatura altamente ionizzato). Il plasma può essere ottenuto in diversi modi, ad esempio attraverso una torcia che trasferisce energia attraverso una scarica elettrica ad un gas fluente. I sistemi al plasma sono diffusi per il trattamento di alcune specifiche sostanze (radioattive o di elevata tossicità) in quanto permettono, per l'elevatissima temperatura, una rottura molto spinta delle molecole, e il loro impiego si va diffondendo. Non si hanno però ancora esperienze a livello di impianto a scala industriale o semi-industriale relative all'applicazione di questi sistemi ai rifiuti urbani.

Viene di seguito riportata la tabella relativa alle condizioni operative dei trattamenti termici dei rifiuti (fonte Bref for Waste Incineration):

	<b>Incenerimento</b>	<b>Gassificazione</b>	<b>Pirolisi</b>
<i>Temperatura operativa [°C]</i>	850 - 1400	800 - 1600	400 - 800
<i>Pressione [bar]</i>	1	1 - 45	1
<i>Atmosfera con presenza di:</i>	Aria	Aria, O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	Inerte
<i>Rapporto stechiometrico</i>	> 1	< 1	0
<i>Prodotti del trattamento:</i>			
Gassosi	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , (N <sub>2</sub> )	H <sub>2</sub> , CO, idrocarburi, (N <sub>2</sub> )
Liquidi	--	--	"Tar"
Solidi	Scorie e ceneri, carbonio incombusto	Vetrificato (alta T) Scorie e ceneri (medio-bassa T)	Scorie e ceneri, "Char"

Tabella 1: Condizioni operative dei trattamenti termici dei rifiuti

## **2.1. Tecnologie di forni presenti a livello mondiale**

In questa sede si manterrà pertanto la distinzione tra incenerimento (inteso come combustione diretta dei rifiuti con eventuale recupero di energia dai fumi prodotti tramite un ciclo termico) ed altri processi di trattamento termico (pirolisi, gassificazione, arco-plasma).

In base a tale distinzione le principali tecnologie (ad oggi più utilizzate) di ogni “famiglia” di trattamento possono essere così schematizzate:

### *1. COMBUSTIONE:*

- Griglia (moltissimi impianti realizzati e in esercizio);
- Griglia/combustione ossigeno;
- Letto fluido;
- Tamburo rotante;

### *2. GASSIFICAZIONE (PIROLISI) E COMBUSTIONE:*

- Gassificazione in tamburo rotante e combustione in forno fisso (processo abbandonato);
- Gassificazione su letto a griglia, combustione in forno rotante e camera di postcombustione (processo abbandonato);
- Pirolisi tradizionale;

### *3. GASSIFICAZIONE (PIROLISI), PRODUZIONE DI GAS DI SINTESI E COMBUSTIONE:*

- Gassificazione in canale fisso e reattore di sintesi (Thermoselect);
- Gassificazione a letto fluido (processo derivante dalla gassificazione del carbone, sperimentazioni diverse in corso ma senza impianto pilota a regime);
- Direct Melting System – Sistema a fusione diretta;

### *4. PROCESSI DIVERSI:*

- Forno al plasma (non idoneo per rifiuti urbani ed elevate capacità);
- Produzione di CDR e combustione in impianti dedicati o co-combustione in cementifici o centrali termoelettriche (nessun vantaggio rispetto alla termovalorizzazione diretta dei rifiuti: maggior carico inquinante, minor produzione di energia elettrica);
- Produzione di CDR, miscelazione con rifiuti speciali e co-combustione in cementifici o centrali termoelettriche (nessun vantaggio rispetto alla

termovalorizzazione diretta dei rifiuti: maggior carico inquinante, minor produzione di energia elettrica).

Per maggiori dettagli tecnologici si rimanda al documento B - Impianto di termovalorizzazione, allegato “Analisi delle tecnologie di termovalorizzazione”.

Negli ultimi anni si sta diffondendo un nuovo processo, di cui si parlerà meglio in seguito, ossia la dissociazione molecolare.

### **2.1.1. Prima valutazione della tecnologia di forno utilizzabile**

Richiamando per maggiori dettagli il documento B - Impianto di termovalorizzazione, documento BII “Analisi comparativa delle migliori tecnologie”, dove sono state messe a confronto tutte le varie tecnologie potenzialmente adottabili, riportate nel paragrafo precedente, ci limitiamo ora a riportare i risultati ottenuti dall’analisi svolta.

Occorre innanzitutto considerare che al fine di effettuare prime valutazioni sulla tipologia di impianti da assumere a riferimento in un confronto tecnico e processistico è stato necessario in via preliminare tenere presente quanto segue:

- Il futuro impianto della Valle d’Aosta dovrà garantire una potenzialità di 250 t/g (portata giornaliera), corrispondente a 10,42 t/h (portata oraria);
- Il futuro impianto della Valle d’Aosta dovrà essere dotato di tecnologia consolidata.

Delle tecnologie riportate nel paragrafo precedente, tenuto conto delle esigenze espresse, le più accreditate, nel campo dell’incenerimento dei RU, risultano essere, per ciò che riguarda la combustione, il forno a griglia e il forno a letto fluido, mentre per ciò che riguarda la pirolisi/gassificazione, la gassificazione in canale fisso e reattore di sintesi, la pirolisi tradizionale e il Direct Melting System (sistema a fusione diretta). Tali tecnologie presentano inoltre la caratteristica di garantire una potenzialità minima per singola linea di processo di 5 t/h, ed inoltre esiste almeno un impianto con la tecnologia applicata funzionante in scala industriale.

Le cinque tipologie di forno individuate sono state esaminate in maniera approfondita al fine di giungere all’individuazione della tecnologia ritenuta, in prima istanza, più idonea alla situazione riscontrata in Valle d’Aosta. Il confronto è stato effettuato basandosi su tre criteri, ritenuti i più appropriati per valutare la rispondenza della tecnologia stessa alle caratteristiche richieste, tali criteri sono il criterio di esercizio, il criterio ambientale e il criterio dei costi.



Dunque dopo aver effettuato una attenta analisi delle 5 tecnologie, che ha quindi messo a confronto non solo tecnologie di combustione ma anche tecnologie di pirolisi e gassificazione, quella che, in prima istanza, è risultata essere la più indicata per la situazione riscontrata in Valle d'Aosta risulta essere la tecnologia di combustione con forno a griglia.

## **2.2. Approfondimenti sui trattamenti di gassificazione e pirolisi**

Come già specificato nel paragrafo 1, dal punto di vista normativo (D.Lgs.133/2005) anche i processi di pirolisi e gassificazione sono equiparati alla combustione diretta, purché i prodotti combustibili risultanti siano combustibili, senza trattamenti, all'interno dello stesso impianto. Richiamando per maggiori dettagli relativi gli aspetti tecnologici il documento B - Impianto di termovalorizzazione, allegato "Analisi delle tecnologie di termovalorizzazione", ci limitiamo ad approfondire alcuni aspetti relativi la reale applicazione di tali impianti.

Lo smaltimento dei rifiuti tramite pirolisi o gassificazione risulta economicamente e ambientalmente interessante nel caso di rifiuti omogenei (ad esempio rifiuti agricoli e forestali). Per il trattamento di rifiuti urbani, e alcune tipologie di rifiuti industriali, sono state sviluppate tecnologie complesse che combinano due o più processi (combustione, pirolisi, gassificazione, vetrificazione). In tal modo si possono privilegiare obiettivi differenti, in base alla condizione specifica: ad esempio la valorizzazione energetica, o l'ottenimento di materiale inerte riutilizzabile, o il recupero del gas.

Volendo quindi sviluppare un processo di pirolisi o gassificazione occorre tener presente alcuni punti fondamentali:

- La gassificazione ha buone prestazioni su rifiuti omogenei. Nel caso invece di trattamento dei rifiuti urbani, è utile un pretrattamento (al fine di ottenere un materiale selezionato e sufficientemente omogeneo) o una combinazione di più processi (ad esempio pirolisi – gassificazione), per ottenere un combustibile derivato da sottoporre quindi a gassificazione. Da ciò deriva la necessità di un ulteriore impianto di cernita e trattamento dei rifiuti solidi urbani da costruire ed autorizzare;
- L'utilizzo di ossigeno, o anche di aria arricchita con ossigeno, comporta elevati costi di trattamento e può generare problematiche di gestione connesse con la sicurezza.

- Per fornire un'idea di quanto sopra esposto segnaliamo che l'unica realtà di gassificatore con pirolisi esistente in Europa è stato costruito dalla Thermoselect in Germania a Karlsruhe ed è stato chiuso nel novembre 2004 dopo aver accumulato una perdita di 500 milioni di dollari. Tra i problemi avuti dall'impianto si includono una perdita di gas tossico, un'esplosione, rotture del refrattario della camera di combustione e perdite di acque contaminate. Il rilascio di sostanze tossiche ha comportato la chiusura temporanea del gassificatore di Karlsruhe per il superamento delle emissioni ammissibili di acido cloridrico, polveri sottili, ossidi di azoto e carbone organico totale;
- Dalla pirolisi derivano tre flussi, costituiti da:
  - Un gas (gas di pirolisi), 15 – 30% in peso, costituito prevalentemente da idrogeno, monossido di carbonio, anidride carbonica, idrocarburi leggeri;
  - Un residuo liquido, ottenuto per condensazione della fase vapore assimilabile ad una emulsione oleosa, che si aggira sul 50%- 60% in peso del materiale in ingresso ed è costituito da acqua, catrame e composti organici;
  - Un residuo solido, contenente composti combustibili ed incombustibili costituito essenzialmente da carbonio, inerti e ceneri classificato come rifiuto pericoloso e smaltibile in discariche per rifiuti pericolosi.

Ci troviamo quindi, in questo caso, di fronte alla complicazione gestionale di dover gestire tre flussi.

Da quanto esposto emerge che le tecnologie di pirolisi e gassificazione, anche se basate su processi noti, non sono in grado di garantire allo stato attuale elevate prestazioni tecniche, ambientali ed economiche e ciò le rende inadatte alla situazione valdostana.

### **2.3. Tecnologia di dissociazione molecolare**

La tecnologia della dissociazione molecolare è una tecnologia piuttosto recente, che si sta proponendo più sotto l'aspetto commerciale rispetto a quello di reale innovazione tecnologica. Il processo di dissociazione molecolare ha come obiettivo quello di disassemblare le molecole di origine organica complesse per riassemblarle in composti più semplici realizzando un gas

sintetico, il SynGas. Il processo avviene in un ambiente chiuso, in carenza di ossigeno, e sviluppando una curva termica compresa fra i 300 e i 550 °C.

Riportiamo di seguito i principali aspetti del processo:

- Funzionamento. Il processo si basa su celle di dissociazione molecolare. Le celle di dissociazione molecolare sono la componente del sistema in cui una combinazione di pirolisi, termolisi e gassificazione converte la carica a base carbonica in SynGas (costituito per lo più da idrogeno, metano, monossido di carbonio e anidride carbonica) e cenere inerte, senza che abbia luogo il processo di combustione. Le varie celle componenti un impianto sono modulari (il sistema si basa sul transitorio e non sul continuo come avviene nella combustione tradizionale);
- Produzione del SynGas. Il processo ha luogo in costanti condizioni di carenza di ossigeno ed in maniera molto lenta. Si parte da materiale sfuso, caricato a lotti in una serie di celle di dissociazione. Un bruciatore di servizio, funzionante a gas naturale, installato nella parte superiore di ogni cella, viene avviato per pochi minuti, in modo da creare le condizioni di innesco; quindi ha inizio una lenta fase di trasformazione del materiale organico in gas ad una temperatura oscillante tra i 300 ed i 550 °C;
- Recupero energetico. I sistemi di recupero energetico adottabili dipendono esclusivamente dalle esigenze dell'utilizzatore finale, in particolare il gas può essere:
  - Bruciato in una caldaia per ottenere calore;
  - Utilizzato in un motore a scoppio o in una turbina a gas;
  - Riformato in idrogeno per essere utilizzato in una cella a combustibile.

### **2.3.1. Considerazioni**

La tecnologia della dissociazione molecolare presenta alcuni punti critici, che occorre considerare, e che la rendono non propriamente adatta alla situazione valdostana:

- Modalità di funzionamento. La dissociazione molecolare, si basa sul transitorio a differenza della termovalorizzazione che si basa su un funzionamento continuo. Come è noto il transitorio è il momento più critico nei processi di combustione; infatti lo stesso D.Lgs. 133/2005 che disciplina le emissioni da parte degli impianti di termovalorizzazione prevede limiti meno restrittivi nelle fasi di avviamento degli impianti rispetto ai limiti imposti durante il normale funzionamento.

La diretta conseguenza di quanto sopra esposto è che tutte le problematiche di carattere ambientali vengono esaltate;

- Trattamento fumi. Non si hanno garanzie relative le emissioni di inquinanti, in quanto è vero che teoricamente dato l'ambiente in cui si opera la formazione di inquinanti dovrebbe essere ridotta, ma è pur vero che non avendo indicazioni relative ad una linea di trattamento fumi specifica che si basi sulle BAT (a differenza di quanto avviene invece con la termovalorizzazione) non può essere garantito, a prescindere, il rispetto dei limiti imposti dalla normativa vigente, D.Lgs. 133/2005 (ed in particolare per la Valle d'Aosta non può essere garantito il criterio di sicurezza ambientale richiesto dalla Regione, ossia livelli di emissioni inquinanti inferiori di almeno il 50% rispetto ai corrispondenti valori limite imposti dalla normativa vigente);
- Pericolosità. Occorre gestire gas tossici ed esplosivi;
- Difficoltà gestionali;
- Tecnologie non consolidate. Data la loro recente diffusione tali tecnologie presentano un grado di maturità commerciale ritenuto non ancora sufficiente.

#### **2.4. Commenti**

In definitiva, in base a tutte le argomentazioni riportate nei paragrafi precedenti, la combustione dei rifiuti potrà, in prima istanza, essere realizzata, mediante forno a griglia.

Riassumendo l'indicazione della tecnologia a griglia è dettata dalle seguenti motivazioni:

- La tecnologia con griglia risulta essere, certamente, la tecnologia più idonea al trattamento di una gran varietà di rifiuti sia dal punto di vista qualitativo che dal punto di vista del potere calorifico. E' una tecnologia adottata in tutto il mondo ed essendo testata da decenni presenta sicuramente una grande affidabilità;
- Il forno a griglia non necessita di pretrattamenti specifici dei rifiuti ed inoltre non comporta la produzione di effluenti liquidi;
- Il forno a griglia consente l'esercizio dell'impianto a carichi parziali più ridotti rispetto alle altre tecnologie esaminate ed offre quindi maggiore flessibilità gestionale;
- La frequenza con cui si verificano interruzioni di esercizio è molto limitata;
- Il forno a griglia, come già detto, offre innumerevoli referenze, di pari taglia, a livello internazionale per il trattamento di RU, ed è inoltre in grado di soddisfare la richiesta di un

funzionamento di 8000 ore l'anno (funzionamento previsto per l'impianto della Valle d'Aosta);

- Dal punto di vista dei costi, il forno a griglia risulta essere il più vantaggioso, rispetto agli altri forni presi in esame, grazie anche alla ridotta necessità di pretrattamento dei rifiuti e alla più semplice manutenzione richiesta.

In definitiva, dunque, l'indicazione tecnologico-impiantistica effettuata si chiude positivamente sotto tutti gli aspetti esaminati.

### 3. TRATTAMENTO EMISSIONI GASSOSE

Da un processo di combustione si genera una corrente fluida (fumi) contenente un miscuglio di più sostanze sia allo stato corpuscolare che in forma gassosa. Tra esse si rinvencono: i prodotti della completa ossidazione ( $\text{CO}_2$  ed  $\text{H}_2\text{O}$ ) dei composti a base di carbonio ed idrogeno contenuti nel rifiuto, l'azoto ( $\text{N}_2$ ) derivante dall'aria di combustione, una nutrita serie di inquinanti sia ad elevata concentrazione (macro-inquinanti, ordine di grandezza dei  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) quali sostanze gassose incombuste, particolato, gas acidi, ossidi di azoto, sia a bassa concentrazione (micro-inquinanti, ordine di grandezza dei  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) quali metalli pesanti e composti organo-clorurati. Questi ultimi, pur se presenti con tenori alquanto contenuti, sono caratterizzati da elevata tossicità e persistenza nell'ambiente esterno.

Si riportano di seguito i limiti di emissione per l'incenerimento dei rifiuti (D.Lgs. 133/2005):

Inquinante	Media 1 giorno ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )	Media 8 ore ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )	Media 1 ora ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )	Media 30 min ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )		Media 10 min ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )  95% dei campioni
				A (100% dei campioni su 1 anno)	B ( 97% dei campioni su 1 anno)	
Polvere tot	10			30	10	
SOT	10			20	10	
HCl	10			60	10	
HF	1			4	2	
$\text{SO}_2$	50			200	50	
$\text{NO}_2$	200			400	200	
CO	50			100		150

Studio comparativo fra i sistemi di trattamento e smaltimento dei rifiuti in Valle d'Aosta

Allegato Tecnico 2 – Approfondimenti relativi allo scenario 2

<b>Cd + Tl</b>		0.05		0.1		
<b>Hg</b>		0.05		0.1		
<b>Metalli</b>		0.5 (senza Sn)		1 (Senza Sn)		
<b>Zn</b>			5			
<b>PCDD + PCDF</b>		$0.1 \cdot 10^{-6}$				
<b>IPA</b>		0.01				

Tabella 2: Limiti di emissione per l'incenerimento dei rifiuti

Per quanto riguarda il trattamento delle emissioni gassose, secondo la normativa ci si dovrebbe basare sulla BAT (Best Available Techniques), definita in un documento ufficiale dell'IPPC Bureau, per gli impianti di termodistruzione. Il contenuto è riassunto nelle tabelle seguenti:

- **Rimozione delle polveri:**

<b>Trattamento</b>	<b>Concentrazione, in uscita, media giornaliera</b>	<b>Vantaggi, svantaggi, note</b>	
<b>Cycloni</b>	PST: 200-300 mg/Nm <sup>3</sup>	Robusti, semplici e disponibili	Solo come trattamento preliminare, relativamente alto consumo di energia rispetto al precipitatore elettrostatico.
<b>Multicycloni</b>	PST: 100-150 mg/Nm <sup>3</sup>		
<b>ESP<sup>1</sup> – secco</b>	PST: < 25 mg/Nm <sup>3</sup> PCDD/F possono aumentare durante la permanenza a temperature di 450-200 °C	Richiede bassa potenza; Può operare a temperature del gas tra 150 e 350 °C; Molto applicato.	Formazione di PCDD/F.
<b>ESP - umido</b>	PST: < 5 mg/Nm <sup>3</sup>	In grado di raggiungere bassi valori di emissione	Poca esperienza nel settore dell'incenerimento dei rifiuti
<b>Filtri a manica</b>	PST: < 5 mg/Nm <sup>3</sup> PCDD/F: riduzione minima se il sistema è applicato a valle degli altri trattamenti	Sempre più applicato nell'incenerimento dei rifiuti; La torta che si forma sul filtro funziona come ulteriore sistema filtrante e come mezzo di adsorbimento.	Consumo di energia relativamente alto (confrontato con ESP); Sensibile alla condensazione dell'acqua e alla corrosione; Necessita di temperature dei fumi relativamente basse (235°C con teflon, 260°C con fireglass).

Tabella 3: Migliori tecnologie di rimozione delle polveri (Best Available Techniques)

<sup>1</sup> Elettrofiltro (precipitatore elettrostatico)

- **Trattamento dei gas acidi**

Trattamento	Concentrazione, in uscita, media giornaliera	Vantaggi, svantaggi, note	
<b>Trattamento a umido (scrubbers a umido: jet, centrifughi, venturi, torri impaccate)</b>	HCl: <5 mg/Nm <sup>3</sup> HF: <0.5 mg/Nm <sup>3</sup> SO <sub>2</sub> : <20 mg/Nm <sup>3</sup>	Concentrazioni in uscita molto stabili; Permette anche l'abbattimento di polveri e microinquinanti.	Produce un effluente liquido
<b>Sistema a semi-umido (sistema spray di iniezione reagente, evaporazione, filtrazione su filtri a manica)</b>	HCl: 3 – 10 mg/Nm <sup>3</sup> HF: <1 mg/Nm <sup>3</sup> SO <sub>2</sub> : <20 mg/Nm <sup>3</sup>	Minori consumi di acqua e produzione di un reflujo solido.	Grandi variazioni nei gas entranti possono eccedere la capacità di assorbimento; Il rapporto solfuri/cloro nel gas entrante è critico.
<b>Sistema a secco con ricircolo di reagente</b>	HCl: < 6 mg/Nm <sup>3</sup> HF: <1 mg/Nm <sup>3</sup> SO <sub>2</sub> : <5 mg/Nm <sup>3</sup>	Riduzione del consumo di reagenti; riduzione della produzione di residuo solido; non produce effluente liquido	Piccolo consumo di acqua per il condizionamento; Consumo elettrico per il ricircolo.
<b>Sistema a secco (iniezione di reagente a secco, filtrazione su filtri a manica)</b>	HCl: <10 <sup>2</sup> (5) <sup>3</sup> mg/Nm <sup>3</sup> HF: <1(1) mg/Nm <sup>3</sup> SO <sub>2</sub> : <50(20) mg/Nm <sup>3</sup>	Nessun consumo di acqua; permette la riduzione di Hg e diossine con l'iniezione di carbone attivo; Riduce la visibilità del plume.	

Tabella 4: Migliori tecnologie di rimozione dei gas acidi (Best Available Techniques)

<sup>2</sup> Valori di emissione associati al dry lime<sup>3</sup> Valori di emissione associati al bicarbonato di sodio a secco

- **Riduzione dei PCDD/F**

<b>Trattamento</b>	<b>Concentrazione, in uscita, media giornaliera</b>	<b>Vantaggi, svantaggi, note</b>	
<b>Prevenzione</b>	Evitare lunghi tempi di permanenza dei gas nel range di temperatura 450-200 °C permette di diminuire la formazione di diossine da oltre 100 ng/Nm <sup>3</sup> TEQ fino a 1 – 10 TEQ.		
<b>Distruzione in SCR</b>	PCDD/F:0.05 - 0.002 ng/Nm <sup>3</sup> TEQ.	Permette la distruzione dei composti e non il semplice trasferimento in un'altra fase	Maggior consumo energetico
<b>Filtri catalitici</b>	PCDD/F:<0.02 ng/Nm <sup>3</sup> . PST: 0.2 - 0.6 mg/Nm <sup>3</sup>	Minori costi, minore spazio richiesto rispetto a SRC	Non permette l'abbattimento di Hg
<b>Iniezione di carbone attivo</b>	PCDD/F:<0.1 ng/Nm <sup>3</sup> Hg:<0.03mg/Nm <sup>3</sup> (0.001 mg/Nm <sup>3</sup> se presente prima uno scrubber a umido)		Si ha la produzione di un residuo contaminato
<b>Adsorbimento su colonna di carbone attivo</b>	PCDD/F:<0.1 ng/Nm <sup>3</sup> Hg:<0.03 mg/Nm <sup>3</sup>		
<b>“Carbon slurries” in scrubber umido</b>	PCDD/F:0.01 - 0.1 ng/Nm <sup>3</sup> Hg:<50µg/Nm <sup>3</sup>		
<b>Oil scrubber</b>	Permette di abbattere diossine e IPA grazie alla lipoficità di questi composti.		

Tabella 5: Migliori tecnologie di rimozione dei PCDD/F (Best Available Techniques)



- **Rimozione del mercurio**

Trattamento	Concentrazione, in uscita, media giornaliera	Vantaggi, svantaggi, note	
<b>Scrubber a umido con 1° stadio acido</b>	Se PH < 1 efficienza di rimozione HgCl <sub>2</sub> oltre il 95%, Hg metallico 0 – 10%.	Rimozione di Hg metallico fino a 20 – 30% con aggiunta di composti solforosi, carbone attivo, ossidanti (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , NaClO); Rimozione complessiva Hg circa 85%,circa 0.05 – 0.08 mg/Nm <sup>3</sup> ; Richiede ulteriori trattamenti per rientrare nei limiti della CEE 2000/76.	
<b>Iniezione di carbone attivo</b>	Hg:<0.03mg/Nm <sup>3</sup> (0.001mg/Nm <sup>3</sup> se presente prima uno scrubber a umido).		Si ha la produzione di un residuo contaminato.
<b>Scrubber a condensazione (Temperatura gas &lt; 40°C)</b>		Permette il recupero di calore.	Fumi freddi hanno una minore risalita; Si possono avere problemi di corrosione in ciminiera.

Tabella 6: Migliori tecnologie di rimozione del mercurio (Best Available Techniques)

- **Trattamento degli NO<sub>x</sub>**

Trattamento	Concentrazione, in uscita, media giornaliera	Vantaggi, svantaggi, note	
<b>SCR</b>	NO <sub>x</sub> :15 - 100mg/Nm <sup>3</sup> NH <sub>3</sub> :<10 mg/Nm <sup>3</sup> PCDD/F:0.05 - 0.002 ng/Nm <sup>3</sup> TEQ	Alta efficienza di rimozione, minor consumo di reagenti.	Grandi costi di capitale, consumo energetico per il riscaldamento dei fumi
<b>SNCR</b>	NO <sub>x</sub> :80 - 180/Nm <sup>3</sup> NH <sub>3</sub> :5 - 30 mg/Nm <sup>3</sup> N <sub>2</sub> O:10 - 30 mg/Nm <sup>3</sup>	Minor consumo energetico e minori costi di capitale	Possibile produzione di N <sub>2</sub> O e rilascio di ammoniaca che non reagisce

Tabella 7: Migliori tecnologie di rimozione degli NO<sub>x</sub> (Best Available Techniques)

- **Abbattimento di iodio e bromo**

Trattamento	Concentrazione, in uscita, media giornaliera	Vantaggi, svantaggi, note	
Uso di sodio tiosolfato (Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> )		Necessario per rifiuti ospedalieri o chimici	

Tabella 8: Migliori tecnologie di rimozione di iodio e bromo (Best Available Techniques)

### 3.1. Prima valutazione della linea di trattamento fumi utilizzabile

Per ciò che riguarda la linea di trattamento fumi utilizzabile per il futuro impianto della Valle d'Aosta, ci limitiamo in questo paragrafo a riportare i risultati ottenuti dall'analisi svolta e riportata nel documento B - Impianto di termovalorizzazione, documento BII "Analisi comparativa delle migliori tecnologie", si rimanda pertanto a tale documento per ogni ulteriore approfondimento.

Occorre innanzitutto considerare che al fine di effettuare prime valutazioni sulla tipologia di impianti da assumere a riferimento in un confronto tecnico e processistico è stato necessario in via preliminare tenere presente quanto segue:

- Rispetto del criterio di sicurezza ambientale richiesto dalla Regione: l'impianto di termovalorizzazione dovrà essere in grado di garantire livelli di emissioni inquinanti inferiori di almeno il 50% rispetto ai corrispondenti valori limite imposti dalla normativa vigente (D.Lgs. 133/2005).

In base a ciò sono state identificate tre possibili linee di depurazioni fumi, che risultano inoltre essere quelle di maggior impiego negli impianti di incenerimento tradizionale.

Le tre linee citate risultano:

Linea A: Elettrofiltro -Reattore a secco- Adsorbimento su carbone attivo-Filtri a manica-SCR;

Linea B: Elettrofiltro-Reattore a secco- Adsorbimento su carbone attivo- Filtri a manica-SNCR;

Linea C: Elettrofiltro-Scrubbers a umido- Adsorbimento su carbone attivo-Filtri a manica-SCR;

Tali linee di trattamento fumi sono state esaminate in maniera approfondita al fine di giungere

all'individuazione di quella ritenuta, in prima istanza, più idonea alla situazione riscontrata in Valle d'Aosta. Anche in questo caso, così come già avvenuto per l'individuazione della tecnologia del forno, il confronto è stato effettuato basandosi sui tre criteri: di esercizio, ambientale e dei costi.

Mediante la valutazione qualitativa effettuata è emerso che la linea di trattamento fumi più idonea, in prima istanza, per il futuro impianto della Valle d'Aosta risulta la linea A.

### 3.2. Commenti

In base alle argomentazioni riportate nel paragrafo precedente, il futuro impianto di termovalorizzazione sarà quindi dotato, in prima istanza, di una sezione di depurazione fumi, che comprenderà, un *elettrofiltro* per l'abbattimento delle polveri, tale sistema consente di ottenere prestazioni molto elevate con ridotti costi di investimento e gestione, un *sistema a secco con iniezione di reagente a secco* (eventualmente bicarbonato sodico) per l'abbattimento dei gas acidi, tale indicazione è sostenuta anche in relazione della possibilità di accoppiare agevolmente la tecnologia con l'abbattimento di diossine e metalli pesanti mediante iniezione di carbone attivo (considerata BAT dall'IPPC Bureau). Tale sistema presenta i seguenti vantaggi:

1. Semplicità impiantistica e bassi costi di impianto;
2. Assenza di effluenti liquidi ed esigenze di manodopera ridotte;
3. Possibile recupero dei sottoprodotti (ad esempio del bicarbonato, se verrà utilizzato come reagente);
4. Come già detto in precedenza, possibile accoppiamento con iniezione di carbone attivo.

I microinquinanti presenti nei fumi della combustione comprendono alcuni metalli pesanti (As, Cd, Cr, Hg, Pb, Se, Zn) ed i composti organoclorurati (prevalentemente PCDD e PCDF). I metalli pesanti possono essere presenti in fase solida ed in fase vapore. La maggior parte condensa e viene eliminata sotto forma di particolato fine. Il mercurio, essendo molto volatile, può essere abbattuto per mezzo di *adsorbimento su carbone attivo*. I carboni attivi micronizzati hanno inoltre l'effetto di favorire il chemiadsorbimento delle diossine (PCDD e PCDF).

I fumi in uscita dal reattore di adsorbimento giungeranno ai *filtri a maniche* per l'eliminazione

delle polveri residue e prodotte. I filtri a maniche presentano i seguenti vantaggi:

1. Elevate efficienze di separazione;
2. Prestazioni indipendenti dal carico di polveri;
3. Polveri recuperate in forma secca;
4. Predisposizione all'accoppiamento con l'aggiunta di adsorbenti per gas acidi o metalli pesanti.

Le maniche potranno essere mantenute pulite mediante un sistema di pulizia ad aria compressa che effettua il distacco del pannello di particolato depositato sulle maniche stesse.

Per la rimozione degli ossidi di azoto sarà previsto un *impianto SCR*; tale impianto, a fronte di un costo maggiore rispetto al sistema SNCR, presenta i seguenti vantaggi:

1. Alta efficienza di rimozione, di molto superiore rispetto a quella raggiungibile con i sistemi SNCR, e dunque migliore risposta al criterio di sicurezza ambientale richiesto;
2. Minor consumo di reagenti rispetto alla rimozione non catalitica.

Inoltre tra il reattore a secco, necessario per l'eliminazione dei gas acidi e il reattore a secco con iniezione di carbone attivo dovrà essere previsto un *economizzatore* al fine di abbassare la temperatura dei fumi fino a 160°C circa e contemporaneamente per preriscaldare l'acqua di alimentazione della caldaia.

Dopo il sistema SCR sarà previsto uno scambiatore finale fumi/acqua per ottimizzare il recupero energetico garantendo una temperatura dei fumi al camino di circa 130°C.

La linea di trattamento finale sarà, quindi costituita da: Elettrofiltro-Reattore a secco con iniezione di reagente a secco-Economizzatore-Reattore a secco con iniezione di carbone attivo-Filtro a maniche-SCR-Scambiatore finale.

I fumi prodotti dall'incenerimento dopo i trattamenti di eliminazione degli inquinanti effettuati verranno inviati al camino e da questo immessi in atmosfera.

#### **4. SCALA DEGLI IMPIANTI**

Nella tabella seguente sono riportati i dati relativi al trattamento di RU in Italia per l'anno 2002 ripresi dal Rapporto Rifiuti 2003 redatto a cura di APAT.

Regione	Provincia	Comune	Quantità totale trattata (t/2002)	Tipologia rifiuti trattati	Tecnologia	Linee	Tecnologia trattamento fumi	Capacità nominale (t/a)	Recupero energetico elettrico MWh/a 2002	Recupero energetico termico MWh/a 2002	Stato	Anno avviamento ristrutturazione
Piemonte	VB	Mergozzo	28.262	RU	griglia	2	EP;-DAS	29.700	8.727	0	o	1977-95
Piemonte	VC	Vercelli	58.551	RU	griglia	3	EP;FF, DAS WS, SNCR	74.250	12.514	0	o	1977-95
Lombardia	BG	Bergamo	24.359	RU	Letto fluido	2	FF, DAS, FF	49.500	6.728	0	o/c	1965-89
Lombardia	BG	Dalmine	114.685	RU, RSAU	griglia	2	EP, DAS FF, , SCR	133.333	88.538	0	o	2002
Lombardia	BS	Brescia	514.393	RU; RSAU	griglia	2	SNCR-DAS-FF	363.000	377.598	261.334	o	1998
Lombardia	CO	Como	79.194	RU; ROT; RSAU	griglia	2	EP;DAS; FF; WS, SCR	82.500	26.689	34.208	o	1967-1987
Lombardia	CR	Cremona	60.129	RU	griglia	2	SD; FF; WS; SNCR	66.000	14.813	41.414	o	1997-01
Lombardia	LC	Valmadrera	65.362	RU	griglia	2	EP; WS	62.700	21.272	0	o	1981
Lombardia	MI	Abbiategrasso	14.338	RU, Sanitari	tamburo rotante	1	EP; WS; FF	16.500	0	0	i/c	1970
Lombardia	MI	Desio	48.903	RU	griglia	2	EP; SNCR; DAS, FF	59.400	8.018	0	o	1976-93
Lombardia	MI	Milano (Silla1)	45.411	RU	griglia	2	EP; WS	132.000	16.763	0	o/c	1975-86
Lombardia	MI	Milano (Silla2)	248.596	RU	griglia	3	EP; DAS; FF; SNCR	396.000	179.081	15.818	o	2001
Lombardia	MI	Sesto S. Giovanni	63.766	RU	griglia	3	EP; WS, FF; SNCR	69.300	27.926	0	o	2001
Lombardia	MI	Trezzo d'Adda	27.734	RU	griglia	2	DAS FF; WS+ ST	165.000	31.320	0	CL/o	2002
Lombardia	PV	Parona	190.490	RU, CDR, Frazione secca	letto fluido ricircolato	1	DAS; FF	150.480	133.922	420.000	o	1999
Lombardia	VA	Busto Arsizio	105.274	RU, Sanitari	griglia	2	SNCR, FF; SD; WS	118.800	51.763	18.000	o	2000
Trentino Alto Adige	BZ	Bolzano	82.149	RU	griglia	2	FF, WS, SCR	89.100	28.182	0	o	1984-95
Veneto	PD	Padova	64.934	RU, Sanitari	griglia	2	EP;DAS; FF, WS; SNCR	75.900	22.365	0	o	1966-95
Veneto	VE	Venezia (Fusina)	48.519	RU	griglia	1	SD; SNCR; FF; WS	47.850	13.092	0	o	1998
Veneto	VI	Schio	30.804	RU, Sanitari	griglia	2	EP, FF; SNCR	31.680	8.325	0	o	1983-91
Veneto	VR	Verona	8.591	RU, CDR	letto fluido	2	.....	165.000	462	0	c/CL	2002
Friuli Venezia Giulia	GO	Gorizia	16.904	RU, Sanitari	rotante	1	EP	19.800	0	0	o	1972/2000
Friuli Venezia Giulia	GO	Moraro	7.058	RU, Sanitari	tamburo rotante	1	EP	12.210	0	0	o/c	1981
Friuli Venezia Giulia	TS	Trieste	100.180	RU, Sanitari	griglia	2	SNCR; DAS; FF; WS	99.000	31.165	0	o	2000
Emilia Romagna	BO	Granarolo dell'Emilia	151.623	RU, Sanitari	griglia	3	EP, WS	165.000	41.157	53.933	o	1973-92
Emilia Romagna	FE	Ferrara (Canal Bianco)	35.279	RU	griglia	1	SNCR, SD, FF, WS	41.250	9.338	17.588	o	1993
Emilia Romagna	FE	Ferrara (Conchetta)	20.993	RU	griglia	1	EP, DAS,FF	25.080	0	0	o	1975-91
Emilia Romagna	FO	Forlì	50.375	RU	griglia	2	DAS, EP, SNCR, FF	56.100	13.483	16.417	o	1976
Emilia Romagna	MO	Modena	118.503	RU, Sanitari	griglia	3	EP, DAS;FF, SNCR	112.200	35.153	287.694	o	1980-95

Studio comparativo fra i sistemi di trattamento e smaltimento dei rifiuti in Valle d'Aosta

Allegato Tecnico 2 – Approfondimenti relativi allo scenario 2

Regione	Provincia	Comune	Quantità totale trattata (t/2002)	Tipologia rifiuti trattati	Tecnologia	Linee	Tecnologia trattamento fumi	Capacità nominale (t/a)	Recupero energetico elettrico MWh/a 2002	Recupero energetico termico MWh/a 2002	Stato	Anno avvio ristrutturazione
Emilia Romagna	PC	Piacenza	32.571	RU	griglia	2	EP; DAS, FF	128.700	17.543	0	o	2002
Emilia Romagna	PR	Parma	11.843	RU, Sanitari	tamburo rotante	2	EP, WS	58.080	0	0	c	1975-91
Emilia Romagna	RA	Ravenna	39.620	RU, CDR	letto fluido	2	DAS, FF, WS	99.000	48.000	0	o	1997-2002
Emilia Romagna	RE	Reggio Emilia	9.564	RU	griglia	2	EP, DAS, FF	56.100	0	0	o/i	1967-94
Emilia Romagna	RN	Coriano	127.416	RU, Sanitari	griglia	3	EP, DAS, FF	132.000	49.161	0	o	1976-92
Toscana	AR	Arezzo	32.984	RU (sovvalli)	griglia	1	SD;FF; SNCR	39.600	14.083	0	o	
Toscana	FI	Rufina (Pontassieve)	9.401	RU	griglia	1	DAS, FF	10.230	0	0	o/i	1977-94
Toscana	LI	Livorno	13.650	RU	griglia	2	DAS, FF	59.400	3.849	0	o	1975-91
Toscana	LU	Castelnuovo di Garfagnana	11.321	RU	griglia	1	DAS, FF	11.220	2.834	0	o	1977-91
Toscana	LU	Pietrasanta	5.281	CDR; RS	letto fluido	2	DAS; FF; WS;SNCR	59.400	3.362	0	o	2002
Toscana	PI	Ospedaletto	22.542	RU, RS ROT	griglia	2	FF, DAS, SNCR, WS	72.600	10.000	0	i/o	1980/02
Toscana	PT	Montale (Agliaia)	34.842	RU	rotante	2	EP, FF	39.600	3.692	0	o	1978
Toscana	SI	Poggibonsi	20.648	RU, RS ROT	griglia	2	DAS, FF, SNCR	26.400	2.388	0	o	1977
Umbria	TE	Terni	25.617	Sovvalli, frazione secca	griglia	2	SD, FF, WS	39.600	11.015	0	o	1975-98
Marche	MC	Tolentino/Pollenza	20.500	RU (sovvalli)	griglia	1	EP, DAS, FF	19.800	4.118	0	o	2002
Puglia	TA	Statte	36.722	RU	griglia	2	EP, DAS, FF, SNCR	72.000	1876	0	o	2001
Sicilia	ME	Messina	22.169	RU	griglia	2	DAS,FF,WS	33.000	0	0	o	1979-96
Sardegna	CA	Capoterra	102.795	RU	2 linee a griglia mobile per RU + 1 linea a Tamburo rotante per RS	3	SD, FF, SCR	110.880	35.243	0	o	1995
Sardegna	NU	Macomer	28.158	RU	letto fluido	2	SD, FF	56.100	4.225	0	o	1994/2001
<b>TOTALE ITALIA</b>	<b>48</b>		<b>3.033.005</b>						<b>1.417.907</b>	<b>1.166.406</b>		

Tabella 2: Elenco degli impianti operativi in Italia, fonte: APAT, modificata dal GTR

(1) Eventuali incongruenze tra capacità nominale e quantitativi di rifiuti trattati sono riconducibili al differente valore tra potere calorifico nominale ed effettivo dei rifiuti trattati

LEGENDA	
CT = conto terzi	
CP = conto proprio	EP = Elettrofiltro
Stato	FF = Filtro a maniche
a = impianto previsto	SD = Reattore a semisecco
n = in costruzione	WS = Scrubber ad Umido

Studio comparativo fra i sistemi di trattamento e smaltimento dei rifiuti in Valle d'Aosta

Allegato Tecnico 2 – Approfondimenti relativi allo scenario 2

<i>o = operativo</i>	<i>DAS = Reattore a secco</i>
<i>i = inattivo o in ristrutturazione</i>	<i>SNCR = abbattimento Nox non catalitico</i>
<i>CL= in collaudo</i>	<i>SCR = abbattimento Nox catalitico</i>
<i>c= cessata attività</i>	<i>ST = trattamento di "stripping"</i>
	<i>RU=Rifiuti Urbani – RS=Rifiuti Speciali RSAU=Rifiuti sPESpecialiAssimilati</i>

#### 4.1. Considerazioni

Per ciò che riguarda la scala del futuro impianto di termovalorizzazione, richiamando la situazione relativa al trattamento dei rifiuti urbani in Italia, riportata nel paragrafo precedente, andiamo ad analizzare il grafico seguente, nel quale viene illustrato l'andamento della capacità nominale (espressa in t/a) degli impianti attualmente operanti in Italia nonché la collocazione del futuro impianto della Valle d'Aosta:

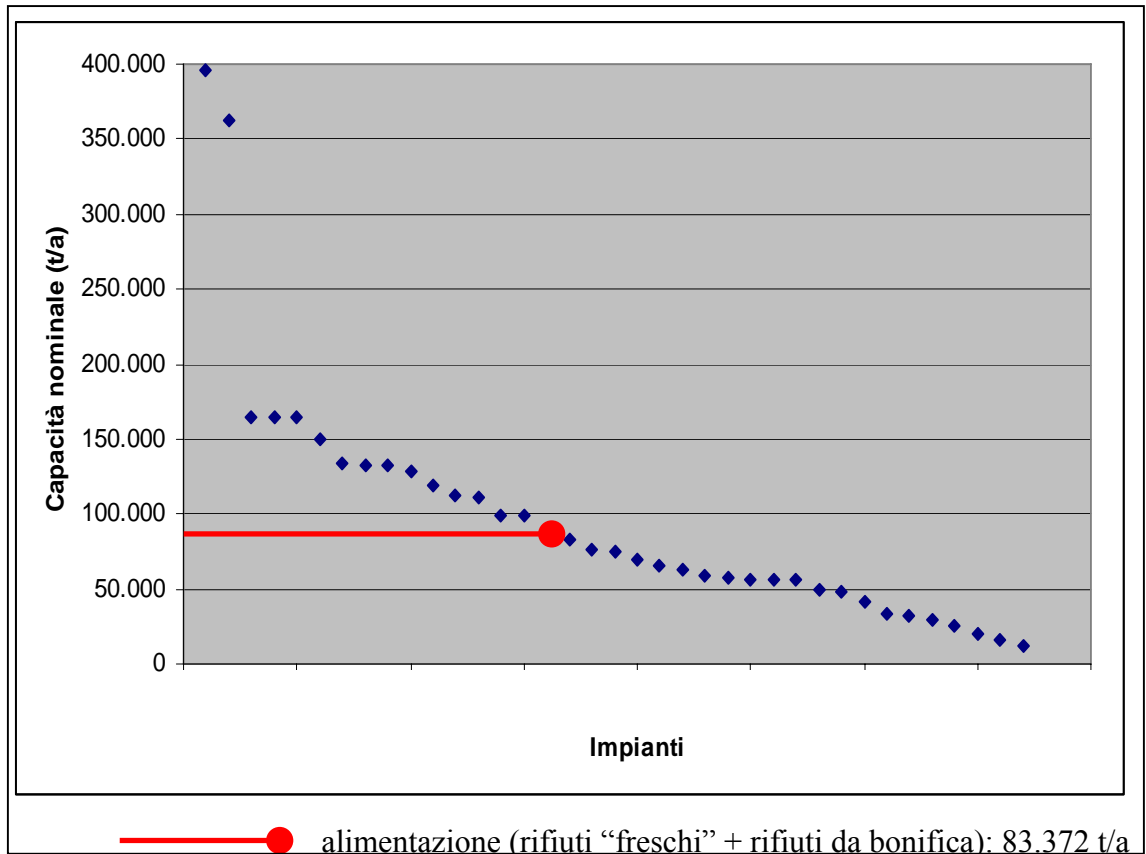


Fig. 1: Andamento della situazione prospettata in Italia

Analizzando il grafico osserviamo come, considerando una alimentazione di 83.372 t/a, il futuro impianto si vada a collocare nella parte medio-alta della curva rappresentante l'andamento della situazione prospettata in Italia. Ne emerge dunque che la tecnologia è disponibile, infatti esistono numerosi esempi di impianti realizzati aventi caratteristiche di scala simili all'ipotetico impianto della Valle d'Aosta nonché medesima tecnologia di combustione (come evidenzia la tabella 1 riportata nel paragrafo precedente).



Occorre infine evidenziare che il futuro impianto, avendo una capacità nominale definibile, osservando il grafico, media, si vada a collocare in una posizione favorevole, in quanto impianti troppo grandi risultano principalmente affetti da problemi di impatti e peso dei trasporti, mentre sugli impianti troppo piccoli gravano principalmente difficoltà gestionali e problemi di economia di scala.