

Milano, 4 Maggio 2010

 POLITECNICO DI MILANO



Presentazione dello studio

CiAI Consorzio imballaggi alluminio - Federambiente

**“Separazione e recupero dei metalli e
valorizzazione delle scorie di combustione dei
rifiuti urbani”**

**Ing. Mario Grosso, Ing. Lucia Rigamonti, Ing. Laura Biganzoli
DIAR – Sezione ambientale**



INDICE

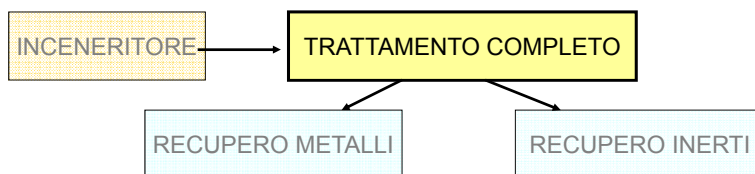
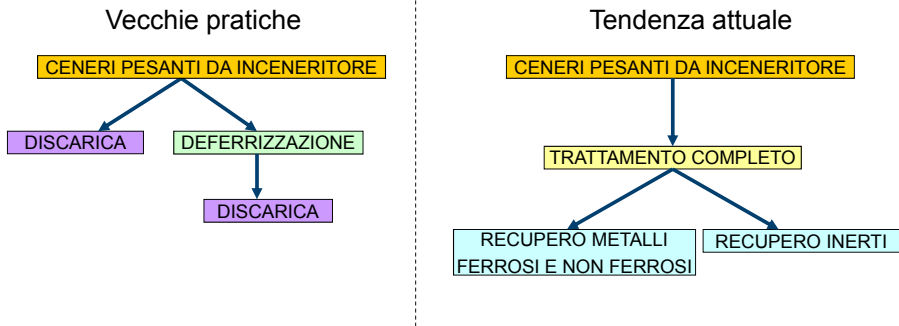
2

1. Obiettivi della ricerca
2. Tecnologie per il recupero dei materiali dalle ceneri pesanti
3. Utilizzo dell'inerte recuperato
4. Utilizzo dei metalli recuperati
5. Situazione Europea
6. Previsione del recupero di alluminio dalle ceneri pesanti in Italia
7. LCA di differenti alternative di recupero



Gli obiettivi della ricerca sono:

1. Valutare lo stato dell'arte per il recupero dei materiali dalle ceneri pesanti
2. Quantificare l'alluminio recuperabile dalle ceneri pesanti (nel 2015 e nel 2020 a confronto con il 2007)
3. Quantificare i benefici energetico-ambientali legati al recupero delle ceneri pesanti utilizzando la metodologia LCA (Life Cycle Assessment)





- Separazione fisica (classificazione granulometrica + separazione dei metalli)
- Separazione chimica con lavaggi
- Invecchiamento naturale ("Ageing")
- Stabilizzazione chimica mediante aggiunta di additivi
- Trattamenti termici

Nazione	Tipo di processo (ISWA, 2006)			
	Vagliatura	Recupero metalli ferrosi	Recupero metalli non ferrosi	Ageing
Austria	x	x		
Belgio	x	x	talvolta	x
Danimarca	x	x	x	x
Francia	x	x	spesso	x
Germania	x	x	talvolta	x
Ungheria	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Italia	x	x	talvolta	
Olanda	x	x	x	x
Norvegia	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Svezia	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Spagna	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Regno Unito	x	x	talvolta	



POSSONO ESSERE RECUPERATI:

- metalli ferrosi → produzione secondaria di acciaio
- metalli non ferrosi → produzione secondaria di alluminio
- inerti → industria cementiera o dei sottofondi stradali

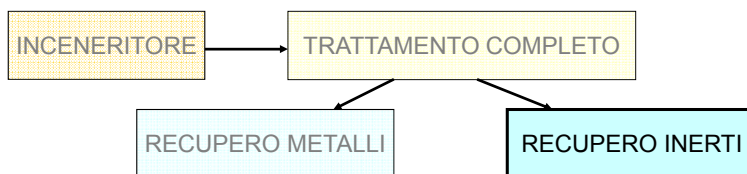


➤ SEPARAZIONE FISICA:

✓ Classificazione granulometrica: può essere realizzata a secco, finalizzata alla rimozione della frazione fine più contaminata, o ad umido, in questo caso si combina la separazione fisica con l'estrazione in acqua della frazione solubile.

✓ Separazione dei metalli : i metalli ferrosi vengono rimossi con separatori magnetici, quelli non ferrosi con separatori a correnti indotte.

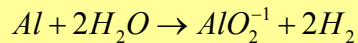
METALLI FERROSI			ALLUMINIO (>60% NON FERROSI)		
Contenuto nelle ceneri pesanti	7-15	% in peso	Contenuto nelle ceneri pesanti	1-2	% in peso
Efficienza di recupero	80	% in peso (ferrosi recuperati/ferrosi ingresso al forno)	Efficienza di recupero	Tecnologie tradizionali	30 % in peso (Al recuperato/Al ingresso al forno)
	6	% in peso (ferrosi recuperati/scoria)		Tecnologie avanzate	1 % in peso (Al recuperato/scoria)
				70	% in peso (Al recuperato/Al ingresso al forno)





➤ PRODUZIONE DI CALCESTRUZZO:

- Le scorie sono costituite prevalentemente da silice amorfa, allumina, ossido di ferro, ossido di calcio ed hanno un comportamento pozzolanico → adatte alla produzione di calcestruzzo.
- Bisogna effettuare dei test di cessione → sicurezza ambientale degli eluati
- Bisogna eliminare l'alluminio presente nelle ceneri pesanti:



La quantità massima di ceneri pesanti nel calcestruzzo può arrivare fino al 30% se vengono addizionate umide (Bertolini et al., 2004)



➤ PRODUZIONE DI CEMENTO: le ceneri pesanti hanno un comportamento pozzolanico e aggiunte alla farina cruda partecipano alla creazione della matrice cementizia (clinkerizzazione)

Vantaggi:

- I metalli pesanti sono immobilizzati nel clinker
- la distribuzione granulometrica e la resistenza a compressione del prodotto non cambiano

Svantaggi:

- La presenza di alluminio può portare al degrado della struttura solida a seguito della sua ossidazione
- L'elevata presenza di cloruri nelle ceneri pesanti ne limita la quantità addizionabile alla farina cruda a valori di circa il 3,5%
- In alcuni casi è stato osservato un rallentamento delle cinetiche di idratazione → ritardo del tempo di presa



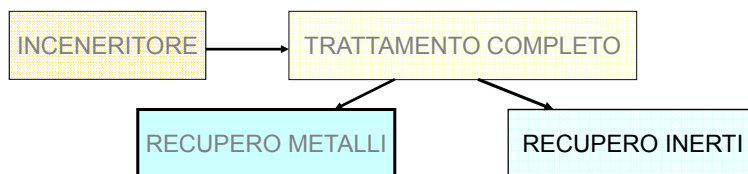
➤ REALIZZAZIONE DI SOTTOFONDI STRADALI: vengono utilizzate soprattutto le frazioni inferiori a 4 mm e superiori a 80 mm, in miscela con sabbia e bitume per costituire lo strato di collegamento

Gli studi effettuati non mostrano problemi di carattere tecnologico ma sono discordanti per ciò che riguarda i benefici ambientali ed energetici

Possibili problemi di lisciviazione di Pb, Cu, Zn

Esperienze italiane:

- ✓ HERA (CIC®) → miscelazione con inerti e loppa + additivi
- ✓ Ecodeco → lavaggi + additivi





➤ **METALLI NON FERROSI:** i noduli di metalli non ferrosi possono essere alimentati tal quali ai forni fusori salini, assieme alle altre tipologie di rottami in alluminio, oppure possono prima essere sottoposti ad un processo di selezione che separa i noduli di alluminio dagli altri metalli non ferrosi e quindi solamente i primi sono alimentati ai forni fusori.

Alimentazione al forno	Efficienza di recupero
Noduli di alluminio	Circa 85%
Noduli di metalli non ferrosi	circa 78%

➤ **METALLI FERROSI:** i metalli ferrosi estratti dalle ceneri pesanti vengono alimentati ai forni ad arco elettrico assieme alle altre categorie di rottami ferrosi. L'efficienza di recupero è di circa il 90%



Utilizzi delle ceneri pesanti: Crillesen e Skaarup, 2006

Nazione	Principali utilizzi delle scorie	Riutilizzo delle scorie
		%
Belgio	Materiale da costruzione	n.d.
Danimarca	Costruzione edifici/strade, massicciate	98
Francia	Costruzione strade	77
Germania	Opere civili	72
Italia	Additivo nel cemento, copertura giornaliera delle discariche	20
Olanda	Costruzione strade, massicciate	87
Svizzera	Discarica	0
Spagna	Costruzione strade	n.d.
Svezia	Opere civili e costruzione discariche	n.d.
Regno Unito	Costruzione strade, aggregati cementizi	n.d.



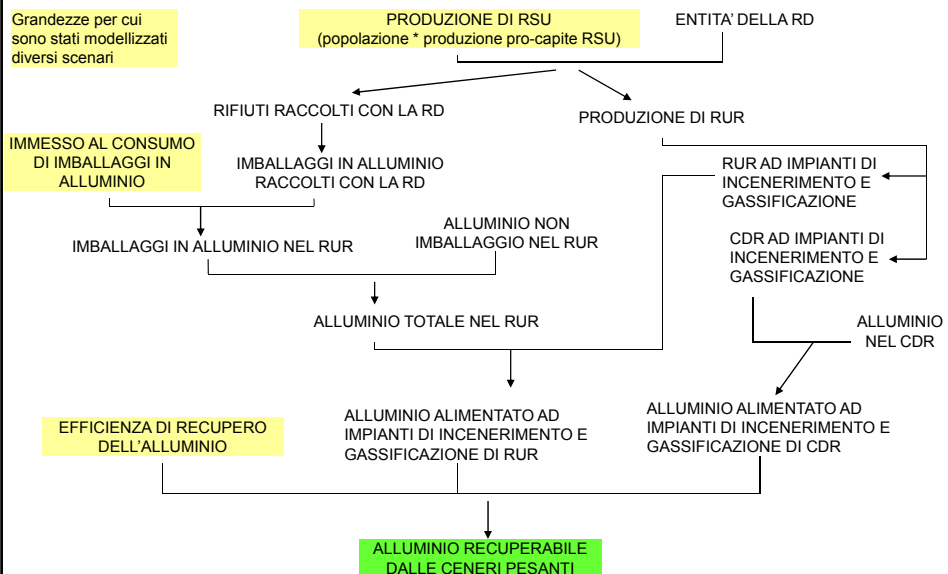
✓FRANCIA: Le ceneri pesanti vengono classificate in tre categorie:

- Tipo I: a bassa lisciviabilità. Sono usate per la realizzazione di strade e parcheggi
- Tipo II: devono essere trattate per poter essere recuperate
- Tipo III: non possono essere recuperate. Vanno smaltite in discarica

✓ DANIMARCA: Il recupero delle ceneri pesanti è regolato dalla Normativa 655/2000.

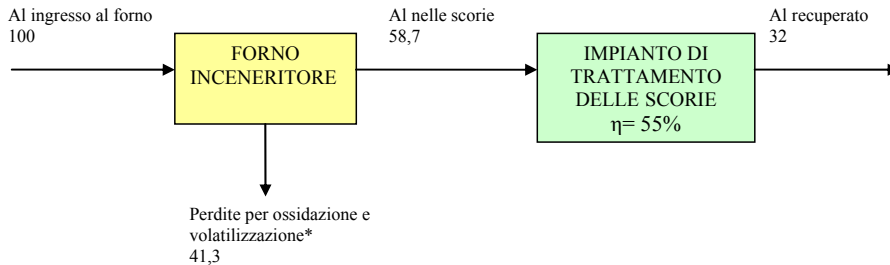
- Normativa 655/2000 molto severa per quanto riguarda la liscivazione (Cu, Pb, Zn, sali) → lavaggio delle ceneri pesanti
- Contributo massimo previsto dalla legge all'incremento di salinità nei suoli dovuto all'uso delle ceneri pesanti = 150 mgCl l⁻¹ e 100 mgNa l⁻¹

Incremento della salinità dovuto allo spandimento di sale in inverno = 1400 mgCl l⁻¹ e 690 mgNa l⁻¹.





BILANCIO DELL'ALLUMINIO ALIMENTATO AD UN IMPIANTO DI INCENERIMENTO



Nota:* tale valore è stato valutato sulla base delle indicazioni riportate da Pruvost (2009) e della presenza di imballaggi flessibili e rigidi osservate nel RUR (DIAR, 2009).

Nel RUR: alluminio non imballaggio = 25% dell'alluminio totale

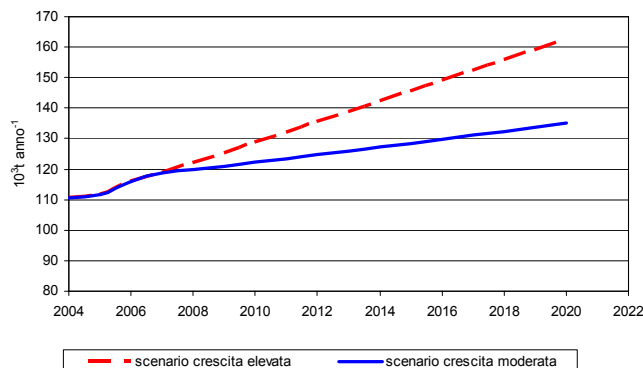


➤ IMMESSO AL CONSUMO DI IMBALLAGGI IN ALLUMINIO:

NB: nella categoria imballaggi sono stati inclusi anche il foglio domestico in alluminio e le vaschette che vengono commercializzate senza contributo ambientale.

•Scenario di crescita moderata: crescita annuale costante pari all'1% dell'immesso al consumo di imballaggi in alluminio

•Scenario di crescita elevata: interpolazione logaritmica dei dati storici 2000-2007

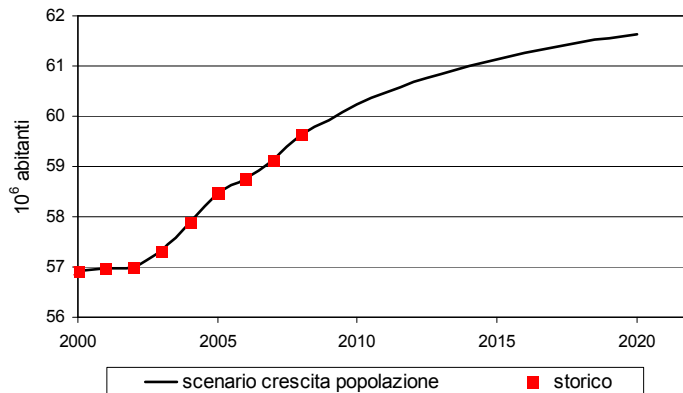




PREVISIONE DEL RECUPERO DI ALLUMINIO DALLE CENERI PESANTI IN ITALIA 19

➤ **PRODUZIONE DI RSU:** produzione pro-capite di RSU * popolazione residente

E' stato considerato lo scenario medio ISTAT della popolazione residente in Italia.



Grosso M.

POLITECNICO DI MILANO



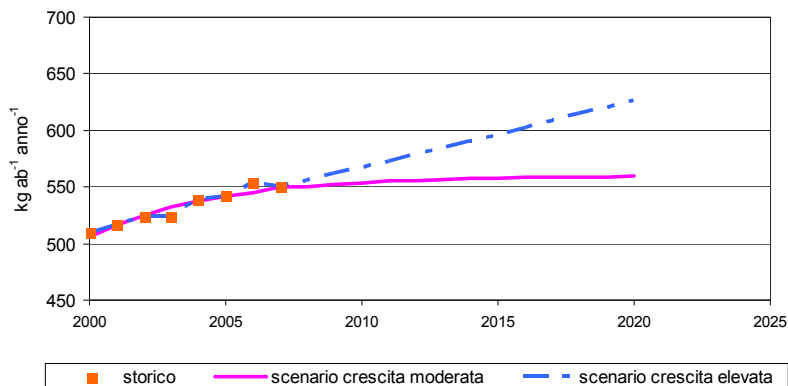
PREVISIONE DEL RECUPERO DI ALLUMINIO DALLE CENERI PESANTI IN ITALIA 20

➤ **PRODUZIONE DI RSU:** produzione pro-capite di RSU * popolazione residente

• **Scenario di crescita moderata:** interpolazione dei dati storici 2000-2007 con un'esponenziale a tre parametri con asintoto orizzontale (A) fissato a 560 kg ab⁻¹ anno⁻¹

$$Produzione_{pro-capiteRSU}(y) = A * (1 - \exp^{-k(y-y^0)})$$

• **Scenario di crescita elevata:** crescita annua costante pari all'1% della produzione pro-capite di RSU.



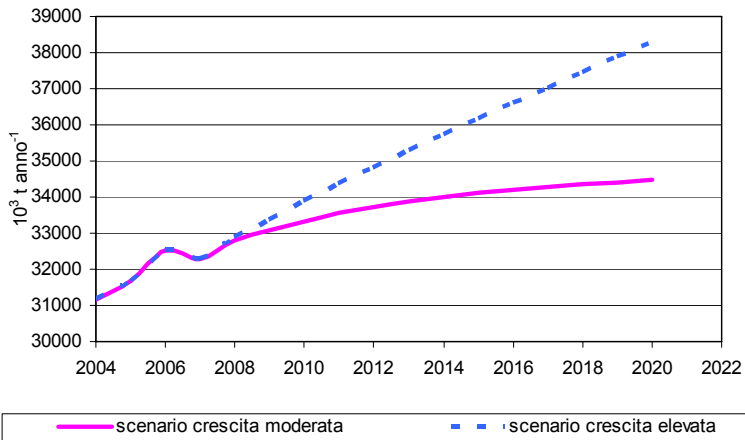
Grosso M.

POLITECNICO DI MILANO



PREVISIONE DEL RECUPERO DI ALLUMINIO DALLE CENERI PESANTI IN ITALIA 21

➤ PRODUZIONE DI RSU: produzione pro-capite di RSU * popolazione residente



Grosso M.

POLITECNICO DI MILANO

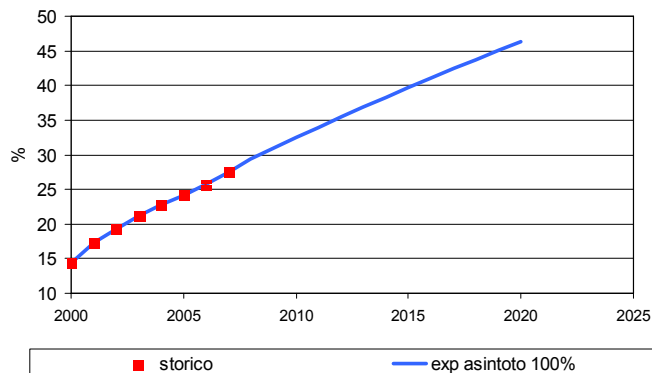


PREVISIONE DEL RECUPERO DI ALLUMINIO DALLE CENERI PESANTI IN ITALIA 22

➤ MODALITA' E STRATEGIE DI GESTIONE DELLA RACCOLTA DIFFERENZIATA:

Interpolazione dei dati storici 2000-2007 con una curva esponenziale a tre parametri con asintoto orizzontale fissato al 100%.

Anno	% RD raggiunta
2015	39,8
2020	46,3



Grosso M.

POLITECNICO DI MILANO



PREVISIONE DEL RECUPERO DI ALLUMINIO DALLE CENERI PESANTI IN ITALIA 23

QUANTITATIVI DI RUR E CDR INVIATI AD INCENERIMENTO E GASSIFICAZIONE

Sono stati considerati tutti gli impianti attivi al 2007 e quelli che verranno con molta probabilità realizzati entro il 2015 e il 2020. Per l'anno 2007 sono stati considerati i rifiuti effettivamente smaltiti da tali impianti mentre per il 2015 e il 2020 si è considerata la loro potenzialità.

Gli impianti sono stati classificati in due gruppi: impianti che trattano RUR e impianti che trattano CDR

Incenerimento	2007	2015	2020
RUR (10 ³ t anno ⁻¹)	3.905	9.561	10.405
CDR (10 ³ t anno ⁻¹)	575	1.209	1.726
Gassificazione	2007	2015	2020
RUR (10 ³ t anno ⁻¹)	240	240	240
CDR (10 ³ t anno ⁻¹)	92	572	572

Grosso M.

POLITECNICO DI MILANO



PREVISIONE DEL RECUPERO DI ALLUMINIO DALLE CENERI PESANTI IN ITALIA 24

Capacità impiantistica aggiuntiva di incenerimento:

Regione	Comune	Data di attivazione	Capacità autorizzata (t anno ⁻¹)
Valle D'Aosta	-	entro 2015	80.000
Piemonte	Torino Gerbido	2010	421.000
Piemonte	NO- VCO	2015	100.000
Piemonte	Torino	2020	274.000
Lombardia	Milano	2011	400.000
Emilia Romagna	Modena	Ampliamento impianto 2010	240.000
Emilia Romagna	Parma	2012	130.000
Liguria	Genova Scarpino	entro 2015	330.000
Toscana	Firenze "I Cipressi"	entro 2015	69.630
Toscana	Rufina Salvapiana	raddoppio 2012	12.000
Toscana	Casa Passerini	2012	137.000
Toscana	Greve	entro 2015	80.000
Toscana	Poggibonsi	nuova linea	34.100
Lazio	Albano	entro 2020*	292.000
Campania	Salerno	entro 2020*	450.000
Campania	Napoli	entro 2015	400.000
Campania	Santa Maria la Fossa	entro 2015	406.000
Puglia	Manfredonia	entro 2020*	135.000
Puglia	Modugno	entro 2020*	90.000
Calabria	Calabria nord	entro 2020*	190.000
Sicilia	Augusta	entro 2015	405.848
Sicilia	Casteltermini	entro 2015	272.466
Sicilia	Palermo	entro 2015	536.665
Sicilia	Messina-Paternò	entro 2015	648.000
Sardegna	Cagliari	2012	35.000-40.000
Sardegna	Flumesanto	2012	120.000-130.000

Grosso M.

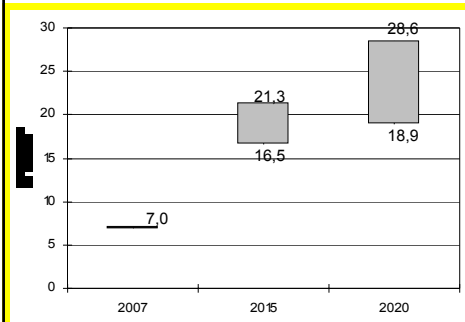
POLITECNICO DI MILANO



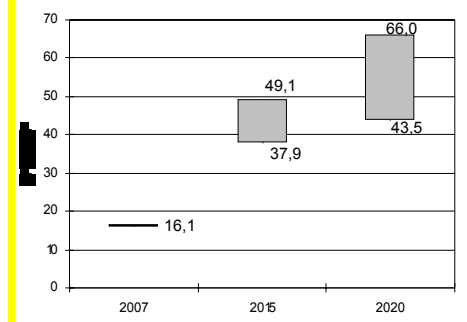
PREVISIONE DEL RECUPERO DI ALLUMINIO DALLE CENERI PESANTI IN ITALIA 25

RISULTATI: t di Al recuperabile dalle ceneri pesanti

Scenario tecnologico di base



Scenario tecnologico avanzato



N.B.: I noduli di alluminio vengono separati assieme agli altri metalli non ferrosi e spesso l'intera miscela è alimentata ai forni fusori delle fonderie. Per stimare il quantitativo complessivo di metalli non ferrosi si può ipotizzare che l'alluminio sia all'incirca il 60% in peso dei metalli non ferrosi recuperati dalle ceneri pesanti.



PREVISIONE DEL RECUPERO DI ALLUMINIO DALLE CENERI PESANTI IN ITALIA 26

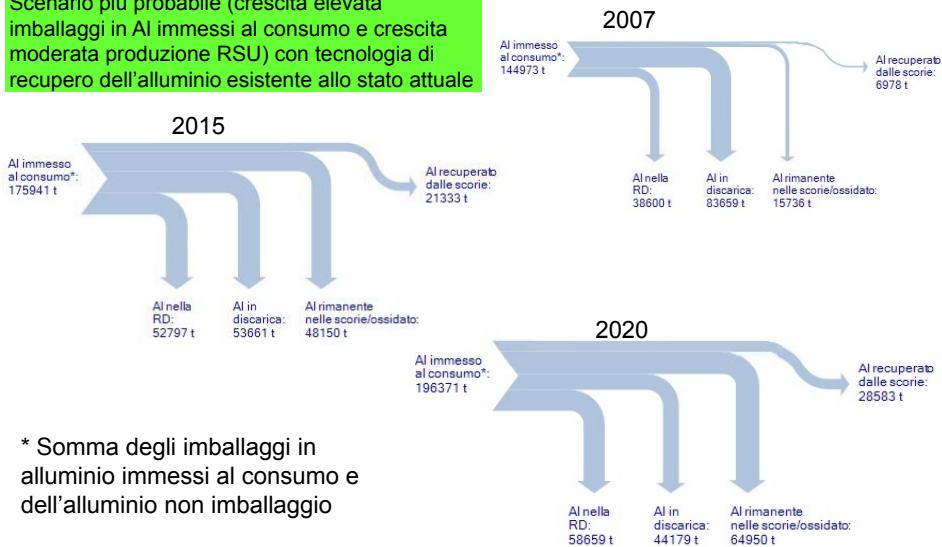
t di alluminio recuperabile dalle ceneri pesanti:

Scenario			2007	2015	2020	Probabilità dello scenario
tecnologia di recupero dell'alluminio esistente allo stato attuale	crescita elevata imballaggi in alluminio immessi al consumo	crescita moderata di RSU	6.978	21.333	28.583	++
		crescita elevata di RSU	6.978	19.550	24.541	+
	crescita moderata imballaggi in alluminio immessi al consumo	crescita moderata di RSU	6.978	18.078	22.251	+
		crescita elevata di RSU	6.978	16.502	18.889	-
tecnologia avanzata di recupero dell'alluminio	crescita elevata imballaggi in alluminio immessi al consumo	crescita moderata di RSU	16.064	49.127	65.996	++
		crescita elevata di RSU	16.064	44.983	56.605	+
	crescita moderata imballaggi in alluminio immessi al consumo	crescita moderata di RSU	16.064	41.566	51.284	+
		crescita elevata di RSU	16.064	37.906	43.471	-



PREVISIONE DEL RECUPERO DI ALLUMINIO DALLE CENERI PESANTI IN ITALIA 27

Scenario più probabile (crescita elevata imballaggi in Al immessi al consumo e crescita moderata produzione RSU) con tecnologia di recupero dell'alluminio esistente allo stato attuale



* Somma degli imballaggi in alluminio immessi al consumo e dell'alluminio non imballaggio

Grosso M.

POLITECNICO DI MILANO



PREVISIONE DEL RECUPERO DI ALLUMINIO DALLE CENERI PESANTI IN ITALIA 28

PREVISIONE DELLA CAPACITA' DI TRATTAMENTO NECESSARIA

Confronto tra:

- la capacità di trattamento delle ceneri pesanti attualmente esistente sul territorio italiano
- la produzione di ceneri pesanti prevista al 2015 e al 2020 (ipotesi: ceneri pesanti = 20% in peso del RUR alimentato al forno degli impianti di incenerimento e gassificazione e 3,5% in peso del CDR alimentato al forno degli impianti di incenerimento e gassificazione)

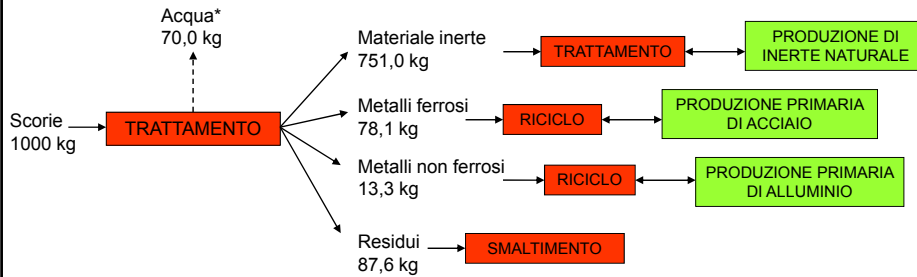
al fine di stimare la capacità di trattamento che dovrà essere installata sul nostro territorio per garantire il recupero del quantitativo di metalli non ferrosi precedentemente valutato.

produzione di ceneri pesanti	2007	2015	2020
t anno ⁻¹	852.326	2.022.517	2.223.412

N.B. Considerando gli impianti di trattamento esistenti e previsti sul territorio italiano di cui si è a conoscenza si arriva ad una potenzialità di trattamento pari a 595.000 t/anno

Grosso M.

POLITECNICO DI MILANO



- Unità funzionale: 1 t di scorie
- I confini del sistema analizzato vengono allargati di modo da includere le attività che possono venire evitate grazie alla produzione dei nuovi materiali utili che il sistema stesso realizza.
- In rosso le fasi che determinano impatti aggiunti nell'ambiente, in verde le fasi che determinano impatti evitati.

*si suppone che le scorie prima di essere trattate vengano lasciate a maturazione per un tempo tale da ridurre l'umidità dal 25% al 18% circa



Agli impatti associati alle attività di riciclo/trattamento dei metalli ferrosi e non ferrosi e del materiale inerte vengono sottratti gli impatti associati alla corrispondente produzione primaria evitata.

Materiale recuperato dalle scorie	Prodotto secondario	Prodotto primario evitato
Metalli ferrosi	Acciaio liquido	Acciaio liquido
Metalli non ferrosi	Lingotto di alluminio	Lingotto di alluminio
Inerte	Materia prima per la produzione di farina cruda in cementifici	Marna
	Materiale inerte per la produzione di calcestruzzo	Sabbia e ghiaia
	Materiale per la realizzazione di sottfondi stradali	Ghiaia



1. Cumulative Energy Demand (CED)

Determina la richiesta complessiva di energia (espressa in MJ eq.), considerando sia gli usi diretti di energia che quelli indiretti.

2. Riscaldamento globale

Calcolato utilizzando il metodo di caratterizzazione IPCC 2007, aggiornamento del metodo IPCC 2001 sviluppato dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC).

Potenziali di riscaldamento globale calcolati per un tempo di esposizione di 100 anni e GWP100 della CO₂ biogenica posto uguale a zero.

Altri impatti quali quello della tossicità o dell'eutrofizzazione non sono stati calcolati data la notevole incertezza esistente relativamente ai dati di lisciviazione di sostanze inquinanti dalle ceneri pesanti, come riportato in numerosi studi di letteratura.



Trattamento scorie

- consumo di energia elettrica pari a 4 kWh per t di scoria da trattare

Metalli ferrosi

- rendimento del forno di fusione secondaria: 90,5%

Metalli non ferrosi

- rendimento del forno di fusione secondaria di alluminio: 78%

Inerte a cementificio

- per ogni kg di inerte da scorie che si aggiunge nella farina cruda, si riduce il quantitativo di marna di 3,2 kg ma si devono aggiungere 2,2 kg di calcare, per mantenere inalterate le caratteristiche del clinker prodotto



Inerte per calcestruzzo

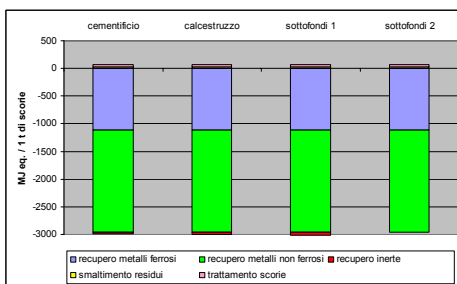
- l'inerte recuperato dalle scorie può essere considerato per il 60% come sabbia e per il restante 40% come ghiaia
- questi materiali recuperati vengono utilizzati in luogo di una pari quantità di sabbia e ghiaia naturali

Inerte per sottofondo stradale

- l'inerte recuperato dalle scorie può essere utilizzato nella realizzazione di sottofondi stradali in luogo della ghiaia naturale
- due casi:
 - miscela costituita da 45% di inerte da scorie, 12% di loppa d'altoforno, 41,5% di altri inerti (50% da cava e 50% da materiali da demolizione), 1,5% di additivi in soluzione (soda, calce e solfato di calcio)
 - all'inerte da scorie viene aggiunto il 2% di cemento e l'1% di ferrosolfato in soluzione.

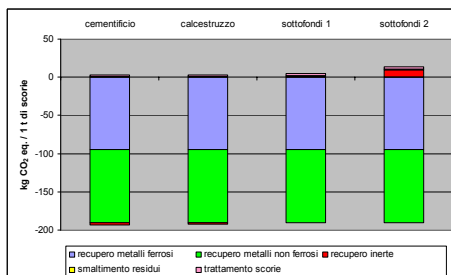
Smaltimento del residuo

- il residuo, costituito principalmente dalla frazione grossolana delle scorie non utilizzabile, viene smaltito in una discarica controllata per materiali inerti.



Cumulative Energy Demand

Valore medio: -2.926 MJeq./t scorie



Riscaldamento globale

Valore medio: -186 kgCO₂eq./t scorie



Confronto tra il trattamento delle ceneri pesanti con recupero di materiali e il loro smaltimento in discarica

	Trattamento scorie con recupero materiali	Smaltimento scorie in discarica		Beneficio totale	
Cumulative energy demand (MJ eq. / 1 t di scorie)	-2.926	+323	→	Cumulative energy demand (MJ eq. / 1 t di scorie)	-3.249
Riscaldamento globale (kg CO ₂ eq. / 1 t di scorie)	-186	+12		Riscaldamento globale (kg CO ₂ eq. / 1 t di scorie)	-198

Benefici energetico ed ambientale derivante dall'invio delle ceneri pesanti a trattamento per il recupero di materiali anziché allo smaltimento in discarica

Anno	t di scorie	milioni di MJ eq. risparmiati	t di gas serra evitate
2007	852.326	2.769	168.761
2015	2.022.517	6.571	400.458
2020	2.223.412	7.224	440.236



- Le tecnologie convenzionali di trattamento delle ceneri pesanti consentono il recupero del 30% circa dell'alluminio contenuto nel rifiuto inviato al forno di combustione. Tecnologie innovative più spinte possono permettere di raggiungere il 70%.
- I quantitativi di alluminio recuperabili dalle ceneri pesanti adottando le tecnologie di recupero oggi esistenti sono compresi tra 16.500 t e 21.300 t nel 2015 e 18.800 t e 28.500 t nel 2020.
- La pratica del recupero di materiali dalle ceneri pesanti risulta essere vantaggiosa sia dal punto di vista energetico che dell'indicatore di riscaldamento globale: il beneficio è principalmente associato al recupero dei metalli.
- I benefici associati al recupero di materiali in luogo dello smaltimento in discarica delle ceneri pesanti stimate sono costituiti da:
 - un risparmio di circa 6.500 milioni di MJ eq. nel 2015 e di circa 7.200 milioni di MJ eq. nel 2020;
 - **emissioni di gas serra evitate pari a circa 400.500 t CO₂ eq. nel 2015 e a 440.000 t CO₂ eq. nel 2020.**



- Nella modellizzazione degli scenari futuri di alluminio recuperabile si è tenuto conto della possibile variabilità di numerosi parametri.
- Non è invece stata valutata l'incertezza relativa all'effettivo realizzarsi del parco impiantistico di incenerimento previsto al 2015 al 2020
- E' d'altra parte noto come questa materia sia particolarmente delicata, soprattutto nell'atto dell'effettivo avviamento della costruzione degli impianti
- Si suggerisce pertanto un aggiornamento periodico dello studio basato sull'evoluzione del settore



- Studio sperimentale sull'effettiva ossidazione dell'alluminio all'interno di impianti reali
- Valutazione e ottimizzazione dell'efficienza di recupero di ferro e non ferrosi mediante prove su impianto pilota
- Analisi delle prestazioni di recupero su sistemi di estrazione a secco delle scorie (Svizzera)
- Valutazione del pretrattamento finalizzato allo specifico utilizzo della frazione inerte come materiale per il capping di discarica controllata
- Osservatorio nell'ambito della piattaforma MEfW (Consorzio LEAP – Federambiente – FISE)



**GRAZIE PER LA VOSTRA
ATTENZIONE!**